



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

STUDIUM MOŽNOSTI VYUŽITÍ PEVNÉHO ODPADU Z BIORAFINACE KÁVOVÉ SEDLINY PRO ZEMEDĚLSKÉ ÚČELY

POSSIBILITY OF UTILIZATION OF SOLID WASTE FROM SPENT COFFEE GROUNDS RAFINATION FOR
AGRICULTURAL PURPOSES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zuzana Slavíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaromír Pořízka, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1315/2018 Akademický rok: 2018/19
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií
Studentka: **Bc. Zuzana Slavíková**
Studijní program: Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Potravinářská chemie a biotechnologie
Vedoucí práce: **Ing. Jaromír Pořízka, Ph.D.**

Název diplomové práce:

Studium možnosti využití pevného odpadu z biorafinace kávové sedliny pro zemědělské účely

Zadání diplomové práce:

1. Zpracovat literární rešerši na dané téma
2. Zajistit pevné nesacharidické frakce z různých fází biorafinace kávové sedliny. Součástí biorafinace bude detoxifikace substrátu pro biotechnologické zpracování – minimalizace obsahu fenolických a polyfenolických látek, které mohou působit inhibičně na růst MO
3. Připravit modelovou půdu
4. Provést růstové testy na jednoduchých rostlinách, pěstovaných na modelové půdě obohacené pevným odpadem z rafinace
5. Provést analýzy jednotlivých půdních vzorků – NPK + mikroelementy, zadržnost vody aj.
5. Zhodnotit růstové charakteristiky a korelace s chem. složením půdy. Popsat vliv detoxifikačních postupů

Termín odevzdání diplomové práce: 10.5.2019:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Zuzana Slavíková
student(ka)

Ing. Jaromír Pořízka, Ph.D.
vedoucí práce

prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2019

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá využitím kávové sedliny a produktů její biorafinace v zemědělství, konkrétně jako potenciálního organického hnojiva. Byl prověřen vliv přídavku jak nativní kávové sedliny, tak kysele hydrolyzované, odtučněné a oxidované kávové sedliny do experimentální jílovité půdy na chemické a fyzikální vlastnosti, konkrétně pH a vodivost a obsah minerálních látek. Byly také provedeny růstové experimenty na rostlinách *Lactuca sativa* s cílem vyhodnotit potenciálně pozitivní nebo negativní růstové účinky. Jako reference k naměřeným hodnotám sloužily vzorky neobohacené půdy a půdy s přídavky komerčního hnojiva NPK. Měřením bylo zjištěno, že přidáním nativní kávové sedliny a produktů její biorafinace do jílovité půdy chudé na minerální látky došlo k poklesu pH, a naopak zvýšení vodivosti půdních vzorků. Došlo také k významnému zvýšení obsahu přístupného vápníku, hořčíku a manganu, mírný nárůst byl zaznamenán také u draslíku. 2 hm. % přídavek nativní sedliny do půdy se na růstu rostlin významně neprojevil, počet i vzhled rostlin byl srovnatelný se saláty na neobohacené půdě. Na kysele hydrolyzovaných půdních vzorcích nedošlo k vyklíčení žádných rostlin salátů, což bylo způsobeno velkým nárůstem vodivosti půdního roztoku a koncentrace síranů. U odtučněných a oxidovaných půdních vzorků naopak došlo k rychlejšímu nástupu klíčení semínek a byl evidován i vyšší počet vyrostlých rostlin. Příčinou mohlo být snížení obsahu fenolických látek v procesu biorafinace kávové sedliny. Na vzhled rostlin v půdních vzorcích měla významný vliv nízká koncentrace fosforu, který kávová sedlina ani produkty její biorafinace nebyly schopny do půdy dodat v potřebném množství. Při porovnání s rostlinami ve vzorcích půdy s obsahem NPK, měly saláty narůžovělý nádech a menší vzrůst.

ABSTRACT

The main focus of this diploma thesis is the utilization of spent coffee ground (SCG) and its biorefinery products in agriculture primarily as a prospective organic fertilizer. The study verifies an influence of the addition of native SCG as well as its acid hydrolysed, defatted and oxidized forms to experimental clay soil on chemical and physical properties (pH, conductivity and mineral content). Growing experiments were realized by using *Lactuca sativa* to detect positive or negative effects on growth. Samples of basic soil and soil with the addition of commercial NPK fertilizer served as a reference to measuring data. Measurements showed that addition of SCG and products of its biorefinery to the soil caused a decrease of pH and an increase of conductivity of soil samples. Significant increase of extractable calcium, magnesium, manganese and moderate increase of potassium content was detected. 2 % addition of SCG to soil had no impact on plants growth. The number and visual appearance of lettuces were comparable with plants in basic soil. No seed on acid hydrolysed samples germinated, which was caused by an increase of conductivity and sulphate content in these samples. In defatted and oxidized samples the early germination and the highest number of lettuces was observed. The low content of phosphorus in all soil samples had a great impact on growth rate and visual appearance of cultivated lettuces. In comparison with soil with NPK addition, lettuces in samples with SCG and its form had a pink-grey colour and lower growth.

KLÍČOVÁ SLOVA: Kávová sedlina, biorafinace, zemědělství, půda, hnojiva.

KEYWORDS: Spent coffee ground, biorefinery, agriculture, soil, fertilizers.

SLAVÍKOVÁ, Zuzana. *Studium možnosti využití pevného odpadu z biorafinace kávové sedliny pro zemědělské účely*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117721>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Jaromír Pořízka.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité literární zdroje správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....

podpis studenta

Obsah

1	ÚVOD	7
2	LITERÁRNÍ ČÁST.....	8
2.1	Káva	8
2.1.1	Kávovník a kávové třešně.....	8
2.1.2	Chemické složení kávy	8
2.1.3	Technologické zpracování	10
2.1.4	Kávový odpad a jeho zpracování.....	12
2.1.5	Biorafinace kávové sedliny.....	13
2.2	Půda.....	15
2.2.1	Klasifikace půd	15
2.2.2	Složení půd	16
2.2.3	Fyzikální vlastnosti půd	17
2.2.4	Analýza půdního vzorku.....	21
2.3	Hnojiva.....	22
2.3.1	Komerční hnojiva	22
2.3.2	Přírodní hnojiva	23
2.3.3	Chemické složení hnojiv.....	24
2.4	Instrumentální techniky využívané pro analýzu půd	26
2.4.1	Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem.....	26
2.4.2	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem	27
2.4.3	UV-VIS spektrometrie	27
2.5	Statistická analýza.....	28
2.5.1	Analýza rozptylu.....	28
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	29
3.1	Použité vzorky půd a směsí se substráty	29
3.2	Použité chemikálie	30
3.3	Použité přístroje	30
3.4	Použité metody.....	30
3.4.1	Příprava půdních vzorků a směsí	30
3.4.2	Příprava extraktů vzorků půdy.....	32
3.4.3	Stanovení vodní kapacity půdy.....	33
3.4.4	pH a vodivost půdních vzorků a směsí	34
3.4.5	Prvková analýza půd a směsí	34
3.4.6	Stanovení dusičnanových aniontů ve vzorcích půd a směsí	34

3.4.7	Stanovení amonných kationtů ve vzorcích půd a směsí	36
3.4.8	Rostlinné růstové experimenty	37
3.4.9	Analýza rozptylu.....	38
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	39
4.1	Fyzikální a chemická charakteristika neobohaceného půdního vzorku.....	39
4.2	Fyzikální vlastnosti směsí půdy a substrátů na bázi kávové sedliny	41
4.2.1	Vliv aplikace substrátů na pH.....	41
4.2.2	Vliv aplikace substrátů na vodivost.....	42
4.3	Prvková analýza směsí půdy a substrátů na bázi kávové sedliny	44
4.3.1	Vápník.....	45
4.3.2	Hořčík	46
4.3.3	Draslík.....	47
4.3.4	Fosfor.....	47
4.3.5	Amonné ionty a dusičnany	48
4.3.6	Hliník	49
4.3.7	Železo	50
4.3.8	Mangan	51
4.3.9	Sodík	52
4.4	Růstové experimenty	53
5	ZÁVĚR.....	55
6	LITERATURA.....	57
7	SEZNAM ZKRATEK.....	64
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
9	SEZNAM TABULEK.....	67
10	PŘÍLOHY	68

1 ÚVOD

Velké množství organického materiálu, které vzniká v průběhu výroby nebo zpracovávání potravin, končí spalováním nebo ukládáním na skládky. Tyto materiály mají přitom často významné vlastnosti, díky kterým mohou být dále využity buď v nezměněné formě, nebo pro výrobu jiných dále využitelných produktů.

Jedním z ekonomicky nejhodnotnějších celosvětově rozšířených výrobků je káva, jejíž roční produkce odpovídá 8,5 tunám. Při technologickém zpracování kávových zrn dochází ke vzniku velkého množství odpadu, jako jsou například slupky a dužina, stříbrné blanky a kávová sedlina, která vzniká zejména při výrobě instantní kávy.

Kávová sedlina obsahuje množství ceněných látek (polysacharidy, sacharidy, tuky nebo minerální látky), které mohou být dále využívány. Ke zhodnocení významných frakcí kávové sedliny dochází během biorafinace. Rafinačními procesy se kávová sedlina upravuje například kyselou hydrolýzou nebo extrakcí, čímž dojde ke zvýšení dostupnosti některých látek nebo naopak k jejich úplnému odstranění. Tím lze získat substráty vhodné pro produkci například biodieselu, bioethanolu nebo polyhydroxyalkanoátů.

Díky relativně vysokému obsahu minerálních látek má kávová sedlina vysoký potenciál jako organické hnojivo použitelné pro zemědělské účely. Kávová sedlina obsahuje ale také kofein a fenolické látky, které mohou mít na růst rostlin negativní vliv, a proto je vhodné tyto efekty podrobně studovat. Samotná kávová sedlina je materiál kyselý a velká část rafinačních procesů její kyselost ještě zvyšují, jelikož jsou založeny na kyselé hydrolýze. Se vzrůstající kyselostí všech půd je proto její potenciální aplikace omezena na půdy spíše zásadité. S těmito vlastnostmi je nutné pro potenciální využití kávové sedliny v zemědělství počítat. Této problematice se věnuje tato diplomová práce na téma Studium možnosti využití pevného odpadu z biorafinace kávové sedliny pro zemědělské účely, která je zaměřena na vliv přídavku nativní kávové sedliny a produktů její biorafinace do experimentální půdy na fyzikální a chemické vlastnosti (pH, vodivost a obsah minerálních látek) a na růstové charakteristiky rostlin *Lactuca sativa*.

2 LITERÁRNÍ ČÁST

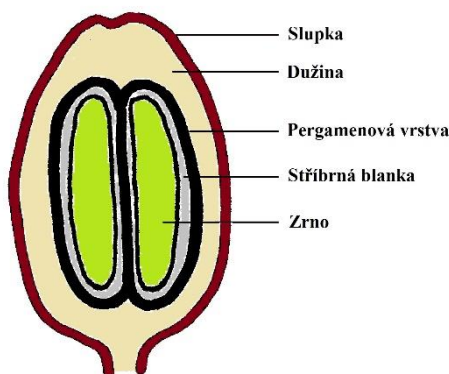
2.1 Káva

Káva je jedním z nejpopulárnějších a zároveň nejdražších nápojů na světě. Svou popularitu si získala díky své nezaměnitelné chuti a obsahu kofeinu, což je látka patřící mezi alkaloidy, která vykazuje stimulační účinky nervové soustavy [1]. Vyrábí se technologickým zpracováním plodů kávovníku. Cena kávy se odvíjí od kvality, způsobu zpracování a dopravy. Významnou roli ovšem hraje i odpad vznikající v průběhu zpracování (např. kávová sedlina), který představuje zátěž pro životní prostředí z důvodu jeho vysoké kyselosti a vlhkosti a velkému obsahu polyfenolických látek. A proto je vhodné hledat způsob jeho dalšího využití, čímž by mohlo dojít ke snížení ceny kávy a zároveň zlepšení životního prostředí. Z toho důvodu je káva velmi aktuálním tématem a má smysl se jí zabývat.

2.1.1 Kávovník a kávové třešně

Rostlina kávovníku patří do rodu *Coffea L.* z čeledi *Rubiaceae*. Patří sem mnoho různých druhů kávovníku, ale potravinářský význam má jen několik z nich. Jejich semena se liší technologickými, chemickými a senzorickými vlastnostmi (technologie potravin). Původně se vyskytoval v afrických tropických lesích, ale postupně se rozšířil do tropických oblastí celého světa. Kvalita kávy je závislá na oblasti pěstování a na jejím podnebí. Významný vliv má i nadmořská výška a složení půdy [2].

Kávovník je v přírodě stálezelená trvalka žijící 10 až 15 let. Pro komerční účely se kávovníky pěstují na plantážích, kde jsou rostliny pravidelně obnovovány. Zrna kávovníku se označují jako kávové třešně (Obrázek 1). Tvoří je dvě semena, která jsou obalena stříbrnou blankou, na níž navazuje vrstva pergamenová. Ta je v přímém kontaktu s dužinou. Poslední vrstvou je zevní slupka, která může mít podle druhu kávovníku a stupně zralosti různé barvy – bílou, žlutou, červenou nebo až fialovou [2],[3].



Obrázek 1: Popis kávové třešně [4].

2.1.2 Chemické složení kávy

Vliv na chemické složení zelené kávy má hlavně druh kávovníku. Z více jak 90 druhů rodu *Coffea* jsou ekonomicky nejvýznamnější druhy *C. arabica* a *C. canephora*. Mezi sebou se liší svým složením a kvalitou zrn. Na světovém trhu má největší zastoupení druh arabika, který tvoří až 70 % produkce zelené kávy. Arabika

pochází původně z Etiopie. Je ceněna nejen kvůli své chuti a aroma, ale také pro velikost zrn a trsů. Káva druhu *C. canephora* var. *robusta* má oproti arabice zrna menší, využívá se více k výrobě instantní kávy. Od arabiky se také odlišuje vyšším obsahem kofeinu, a tedy vyšším stimulačním účinkem výsledného nápoje [5].

V průběhu technologického zpracování se chemické složení kávy mění hlavně vlivem fyzikálních podmínek nastávajících při jednotlivých technologických procesech. K nejvýraznějším změnám dochází při pražení, kdy působením vysoké teploty dochází k Maillardově reakci a ke karamelizaci, tím dojde k degradaci některých látek (sacharidy, aminokyseliny nebo bílkoviny), čímž vzniká charakteristické kávové aroma. Maillardova reakce je reakce neenzymatického hnědnutí, během kterého probíhá série různých interakcí mezi redukujícími cukry a sloučeninami s volnou aminoskupinou. Jejimi výslednými produkty jsou melanoidy – hnědé vysokomolekulární dusíkaté sloučeniny [6]. K redukci obsažených látek dochází také při přípravě samotného nápoje, látky rozpustné ve vodě se extrahují a přechází do vodné fáze. Jejich přibližné procentuální složení je uvedeno níže v tabulce 1.

Tabulka 1: Porovnání procentuálních obsahů složek zelené a pražené kávy [2].

	Zelená zrna		Pražená zrna	
	Arabika (hm. %)	Robusta (hm. %)	Arabika (hm. %)	Robusta (hm.%)
Bílkoviny	11-17	11-13	12-15	13-15
Tuky	9-18	9-18	15-20	11-16
Sacharidy	60-76	69-76	40-79	64-71
Popel	4-5		4-5	
Voda	8-13	12-13	4	

Proteiny, peptidy a aminokyseliny jsou nezbytné pro vytvoření kávového aroma, jelikož představují substituenty v Maillardově reakci. V průběhu pražení jsou přeměňovány především na furany, pyraziny, pyroly, aldehydy a melanoidy. Z nutričního hlediska ovšem káva není dobrým zdrojem bílkovin, jelikož mají nízký obsah esenciálních aminokyselin.

Lipidy se nacházejí především v endospermu zelených kávových zrn, vnější vrstvy poté obsahují hlavně vosky. Lipidovou frakci kávy tvoří zejména triacylglyceroly, volné mastné kyseliny, steroly a tokoferoly. Nejvíce zastoupenými mastnými kyselinami jsou nenasycené kyseliny linolová, olejová a linolenová, kromě jejich pozitivních zdravotních účinků mají vliv na integritu a zabraňují hydrolýze a oxidaci triacylglycerolů [7].

Obsah redukujících cukrů v kávě je relativně malý, nejvíce zastoupeným je zde disacharid sacharóza. V průběhu pražení kávy podléhají sacharidy karamelizaci a Maillardově reakci a degradují na látky tvořící aroma, proto je jejich množství v pražené kávě již téměř nezatelné. Vysokomolekulární polysacharidy kávy tvoří především arabinogalaktany, manany, galaktomanany a celulóza. Pražení neovlivňuje strukturu polysacharidů, ale bylo zjištěno, že podporuje jejich následnou extrakci do nápojů [8].

Hlavní složku popela představuje draslík, který tvoří až 40 hm. %. Mezi množstvím popela v zelené a pražené kávě není významnější rozdíl, ten nastává až při přípravě nápoje po extrakci kávy, kdy se minerální látky v horké vodě rozpouští a přechází do vodné fáze [8]. Dalším významným prvkem obsaženým v kávové sedlině je fosfor, tvořící asi 4 hm. % popela. Zbytek tvoří dalších asi 30 minerálů, především sodík, hořčík, vápník a síra [7].

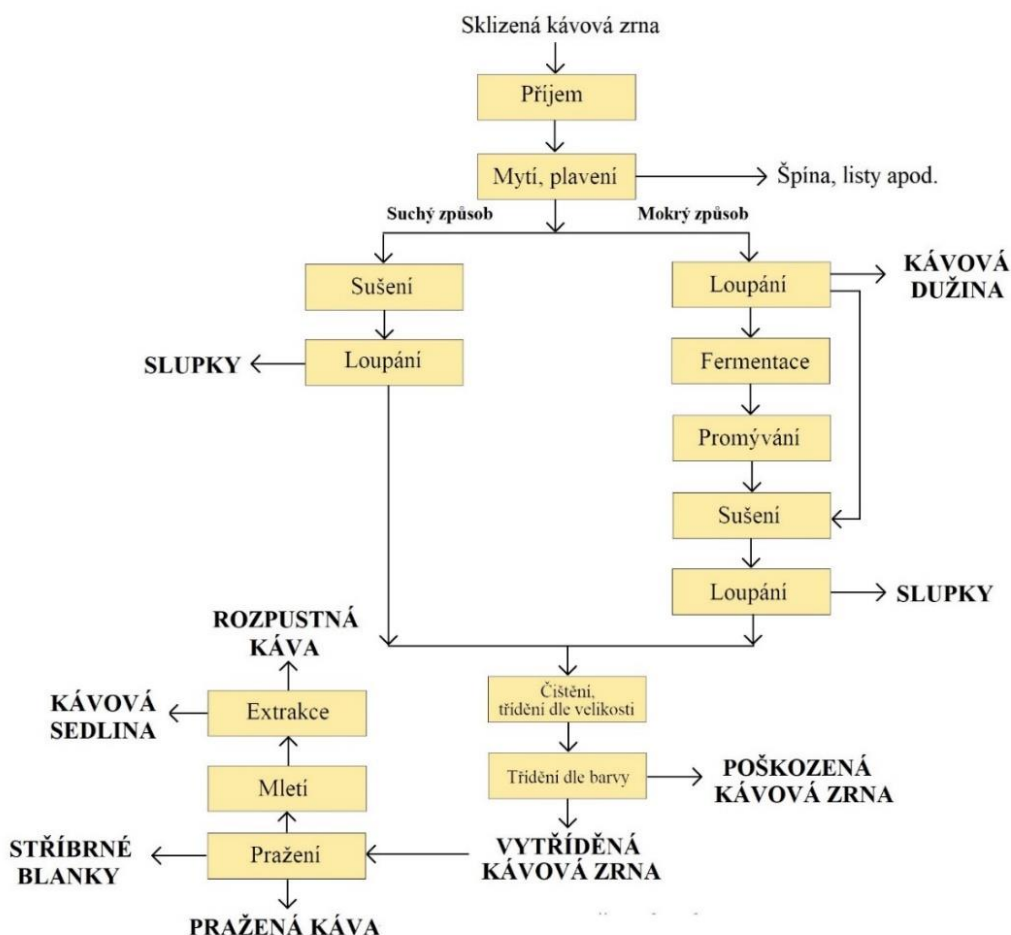
Množství vody obsažené v kávě vypovídá o možné aktivitě vody v průběhu skladování a ulehčuje monitorování průběhu zpracování kávy. Obsah vody v zelené kávě závisí na stadiu její zralosti, lze ji rozdělit na vodu pevně a slabě vázanou a vodu s nízkou mobilitou. Voda

obsažená v pražené kávě většinou nepřesahuje 4 hm. %, čímž se výrazně snižuje aktivita vody, a tedy zvyšuje doba trvanlivosti [8].

Káva je bohatým zdrojem bioaktivních fytochemikálií, jako jsou methylxanthiny, aminokyseliny, fenolické kyseliny a polyfenoly. Primární methylxanthin kofein má stimulační efekt, což se projevuje zvýšením krevního tlaku a činností srdce po požití nápoje. Mimo to podporuje funkci ledvin díky močopudným účinkům. Fenolické a polyfenolické látky kávy jsou významné hlavně díky svým biologickým aktivitám, protože působí jako antioxidanty, podporují produkci oxidu dusnatého (NO) a vasodilataci. Dále regulují tvorbu enzymů a metabolizujících xenobiotika, zvyšují oxidaci mastných kyselin a sensitivitu inzulínu a ovlivňují absorpci a využití glukózy. Nejhojnějšími fenolickými látkami kávy jsou chlorogenní kyseliny – můžou tvořit až 12 % sušiny zelených kávových zrn [9],[10].

2.1.3 Technologické zpracování

Proces technologického zpracování kávy lze rozdělit do dvou fází. První fáze zahrnuje mytí, loupání a sušení kávových třešní, jejich výchozím produktem jsou zelená kávová zrna. Druhá fáze zahrnuje produkci pražené a rozpustné kávy. Během celého technologického zpracování je vytvářeno velké množství odpadního materiálu, hlavně kávové slupky, sedlina, stříbrné blanky a další. Konkrétní kroky procesu jsou uvedeny na obrázku 2 [11].



Obrázek 2: Schéma technologického zpracování kávy [11].

Sklizeň

Sklizeň plodů kávovníku má významný vliv na kvalitu výsledného produktu. Zásadní je stupeň zralosti plodů – nezralé i přezralé plody kvalitu zhoršují. Kávové třešně na jedné rostlině nedozrávají ve stejný čas, jejich sklizeň tedy nastává v době, kdy dozrává většina z nich. Sklizeň může být prováděna manuálním trháním plodů nebo mechanickým třesením kávovníku nebo strháváním trsů. Manuální sklizeň je sice náročnější a nákladnější, ale kvalita sklizených kávových třešní je oproti mechanickému sklizení vyšší [3].

Získávání semen

Dalším krokem ve zpracování kávových plodů je oddělení semen od zbytku plodu. Toho lze dosáhnout různými postupy, přičemž nejznámějšími jsou mokrá a suchá metoda.

Suchá metoda je založena na rozprostření plodů na betonové ploše, kde jsou sušeny na slunci (obrázek 3) po dobu 5–15 dnů a během dne se několikrát obracejí. Suché plody se poté na loupacích strojích zbavují slupky i stříbřité blanky, následně se čistí a třídí podle velikosti a kvality. Tento způsob je sice méně nákladný, ale získávají se při něm zrna nižší kvality, která se označují jako nepraná přírodní káva.



Obrázek 3: Sušení kávových zrn při suché metodě.

Při mokrému způsobu získávání zrn se plody nejdříve plavením čistí, poté se plod naruší v mačkáčím stroji, kde dojde také k odstranění převážné většiny oplodí. Zbytky dužiny se následně odstraňují fermentací. Následně se zrna suší a třídí podle velikosti, jejich kvalita je oproti suché metodě vyšší. Takto získaná zrna se označují jako zelená nebo surová a v tomto stavu jsou uváděna na světový trh. Pražení kávy probíhá v místě jejich spotřeby [2],[3].

Pražení

Pražení kávy probíhá v pražicích strojích za teploty 200–220 °C po dobu 5–30 minut. Vyhřívání je zajištěno pomocí horkého vzduchu, který je nepřetržitě promícháván. Proces pražení můžeme rozdělit do 2 fází. V iniciační fázi dochází k sušení kávového zrna, trvá asi 3–6 minut. Tehdy se začíná vyvíjet aroma a chuť kávy díky probíhajícím chemickým reakcím, jako je Maillardova reakce nebo karamelizace. Současně se ze zrnka uvolňuje oxid uhličitý a vypařuje se voda. Jako kritický bod se považuje slyšitelné prasknutí zrnka, což je důsledkem deformace celulózové struktury. Poté barva kávy dále tmavne a aroma se zvyrazňuje [12].

Během pražení dochází ke změnám v chemickém složení kávy hlavně kvůli pyrolytickým reakcím. Zelená kávová zrna jsou zcela zbavena vody. Obsah dalších složek, jako jsou bílkoviny, tuky, sacharidy a minerální látky, zůstává téměř neměnný, ovšem dochází zde ke změnám jejich struktury [11]. Pražením vzniká více než 800 těkavých látek, které dohromady vytváří kávové aroma. Mezi nejčastější sloučeniny patří kyseliny, aldehydy, alkoholy, sloučeniny síry, fenoly, pyroly, pyraziny, thiofeny a furany [13].

Technologickým zpracováním mohou být hojně zastoupené chlorogenní kyseliny izomerovány, hydrolyzovány nebo degradovány na látky s nižší molekulovou hmotností. Vysoká teplota pražení během Maillardovy reakce způsobuje jejich přeměnu na quinolaktony a melanoidiny [10],[14].

Další úpravy kávy

Pro udržení aroma kávy je po upražení důležité kávu co nejrychleji zchladit, to se provádí v chladicích bubnech pomocí studeného vzduchu. Po konečném odstranění vadných zrn se káva může dále namlít a zabalit. Balení se provádí buď vakuově, nebo pod inertním plynem opět kvůli zachování aroma [2].

Pomocí extrakce je možné z kávy odstranit kofein, který je zodpovědný za stimulační efekt kávy a je tedy nevhodný například pro skupinu lidí s hypertenzí. Získáváme tak bezkofeinovou kávu. K odstranění může docházet už u zelených kávových zrn několika možnými, různě náročnými postupy. Starší metoda extrakce kofeinu byla prováděna po navlhčení kávových zrn pomocí organických rozpouštědel (ethylacetát, dichlormetan) za sníženého tlaku. Metody používané v dnešní době využívají k extrakci kofeinu vodu nebo superkritický oxid uhličitý. To má značné výhody ze zdravotního hlediska, neboť zde není riziko obsahu reziduí organických rozpouštědel ve výsledném produktu [2],[7].

Produkce instantní kávy většinou zahrnuje extrakci mleté, pražené kávy pomocí horké vody za zvýšeného tlaku, čímž jsou převedeny ve vodě rozpustné látky kávy do vodné fáze. Voda se poté různými způsoby odstraňuje, zejména sušením, sušením za sníženého tlaku nebo lyofilizací. Nejvyšší kvalita instantní kávy se získává odstraněním vody pomocí sublimace. Na výrobu instantní kávy se mnohem častěji používá káva robusta, jelikož oproti arabice obsahuje více ve vodě rozpustných látek [2],[7].

2.1.4 Kávový odpad a jeho zpracování

Odpad, který při výrobě kávy vzniká, má mnohdy stejně prospěšné účinky a složení jako káva samotná. Tyto vedlejší produkty se dají dále zpracovávat a využívat.

Slupky a dužina

Slupky a dužina kávových třešní mají oproti kávovým zrnům mnohem vyšší obsah vody a také sacharidů (50–90 hm. %), ale naopak nízký obsah lipidů (0,5–3 hm. %). Běžná je jejich inkorporace do organických substrátů používaných pro pěstování zeleniny, ovocných stromů nebo samotných kávovníků. Kvůli obsahu antinutričních látek, jako jsou taniny nebo kofein, nejsou kávové slupky a dužina vhodným krmivem pro zvířata. V případě jejich použití by bylo nutné antinutriční látky nejprve odstranit, k čemuž je možné využít například superkritické extrakce [11].

Stříbrné blanky

Stříbrné blanky jsou odstraňovány při pražení zrn většinou pomocí cyklonového separátoru. Obsahují vyšší množství rozpustné i nerozpustné vlákniny (50–60 hm. %) než ovesné nebo pšeničné otruby, a tedy by mohly být jejím alternativním zdrojem. Díky obsaženým fenolickým sloučeninám vykazují stříbrné blanky antioxidační aktivitu a mají potenciální probiotické účinky [11].

Kávová sedlina

Kávová sedlina je zůstatek po extrakci pražené mleté kávy při přípravě nápoje nebo při průmyslové výrobě rozpustné kávy. Ve velkém množství probíhá její likvidace ukládáním na skládkách nebo použitím jako paliva při výrobě rozpustné kávy, čímž ovšem vzniká hojné množství těkavých látek znečišťujících životní prostředí. Kávová sedlina je nelegálně

používána také pro falšování pražené mleté kávy, přičemž je její detekce mnohem náročnější než detekce jiných nepovolených příměsí [11].

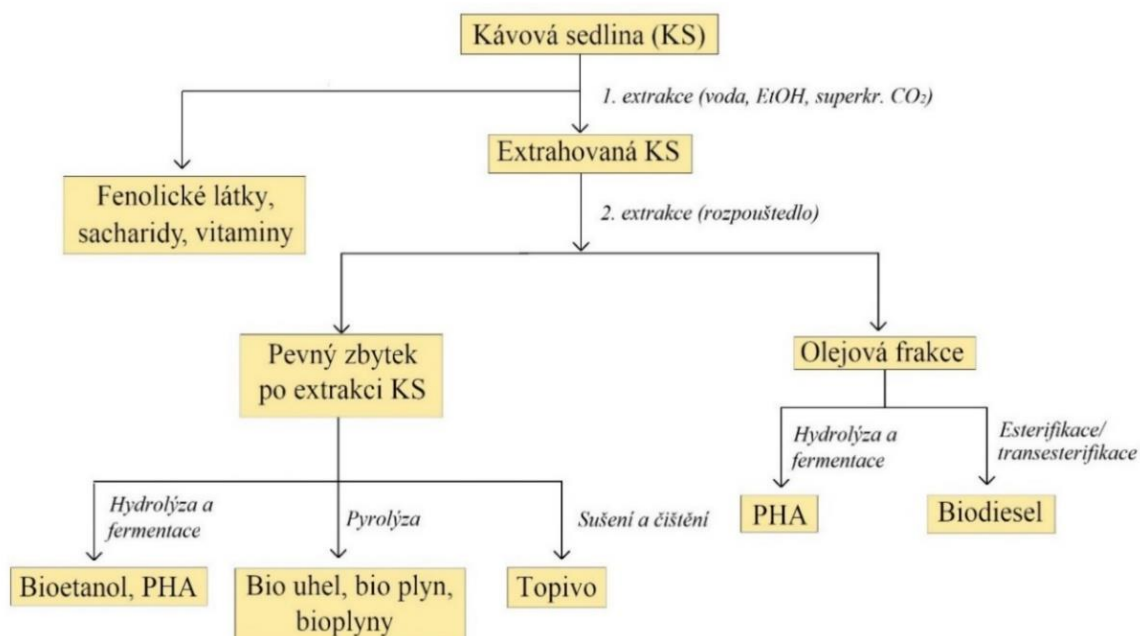
Díky svému složení (Tabulka 1) je kávová sedlina potenciální zdroj sacharidů, bioaktivních látek nebo olejové frakce, jejich množství je ovšem ovlivňováno technologickým zpracováním a přípravou kávy. V kávové sedlině se nachází větší množství lipidů než v kávě zelené nebo pražené, jelikož tato frakce není ovlivňována extrakcí horkou vodou. Zastoupení bílkovin v kávové sedlině zůstává po extrakci téměř neměnné a díky své kvalitě je lze považovat za dobrý doplněk do potravin s rozmanitými pozitivními účinky na lidské zdraví.

Kofein z mleté pražené kávy je extrahován do nápoje, jeho obsah v kávové sedlině závisí na době extrakce. Množství minerálních látek v kávové sedlině je nižší, jelikož většina je snadno rozpustná v horké vodě. Bohatě zastoupené jsou zde polysacharidy, nejvíce galaktomanany, arabinogalaktany a celulóza. Monosacharidy, hlavně manóza, galaktóza, glukóza a arabinóza, jsou v kávě většinou součástí celulózových nebo hemicelulózových řetězců [11],[15].

2.1.5 Biorafinace kávové sedliny

Při výrobě a spotřebě jakéhokoli zboží se vytváří obrovské množství dále nevyužívaného odpadu. Trendem dnešní doby je redukovat dopad tohoto odpadu na životní prostředí a na ekonomiku omezováním množství neobnovitelných zdrojů a používáním méně energie, zhodnocováním zbytků či recyklováním. Za jeden z těchto odpadů může být považována také kávová sedlina, kterou je procesem biorafinace možné přeměnit na další hodnotitelné produkty [16].

Biorafinace znamená proces přetváření biomasy do různých dále využitelných produktů nebo pro získání energie. Díky svému bohatému složení má kávová sedlina široký potenciál pro tvorbu dalších produktů. Může se využívat neupravená nebo po chemické úpravě. Na schématu (obrázek 4) je uvedena výroba hodnotných produktů z kávové sedliny.



Obrázek 4: Schéma zpracování kávové sedliny [15],[16].

Pro získání fenolických látek, sacharidů nebo vitaminů se využívá extrakce vodou, etanolem nebo superkritická extrakce. Výtěžek těchto látek závisí jak na extrakčním činidle, tak na podmínkách procesu, jako jsou teplota, tlak či působení například mikrovln. Nejvyššího

množství získaných látek se dosáhne pomocí superkritické extrakce CO₂. Tímto způsobem se také vyrábí bezkofeinová káva. Po této extrakci získáme zbytek, který je dost bohatý na to, aby se mohl dále využívat [17].

Druhým krokem při zpracování kávové sedliny je oddělení olejové frakce, která tvoří asi 11–20 hm. %. Olej se z kávové sedliny získává třemi různými postupy, konvenčním způsobem se používá nepolárních extrakčních činidel, zpravidla hexanu nebo ethyletheru. Dalšími postupy extrakce oleje jsou založeny na soxhletové reakci nebo superkritické extrakci pomocí CO₂. Získaný olej se dále využívá například pro výrobu biodieselu nebo polyhydroxyalkanoátů (PHA)[18].

Biodiesel

Po extrakci lze získaný olej během dvou katalyzovaných kroků přeměnit na biodiesel. Prvním krokem je kyselá katalyzovaná esterifikace následovaná transesterifikací za využití katalyzátorů NaOH nebo KOH. Při velkoprůmyslovém zpracování kávové sedliny tímto způsobem by bylo možné vyrobit až 3,5 % světové produkce biodieselu [18].

Polyhydroxyalkanoáty

Polyhydroxyalkanoáty jsou přírodní intracelulární polyestery produkované různými druhy bakterií s vlastnostmi srovnatelnými s vlastnostmi polypropylenu (PP) nebo polyethylenu (PE). Jsou biodegradabilní a oproti PP a PE méně zatěžují životní prostředí. Jejich získání je možné jak přeměnou olejové frakce, tak hydrolyzátu kávové sedliny, které jsou zdrojem uhlíku pro bakterie. Z oleje lze pomocí bakterií získat až 89 hm. % PHA na 1 gram buněčné sušiny, z hydrolyzátu kávy téměř 55 hm. %. Tato přeměna je ovšem oproti výrobě PP nebo PE ekonomicky náročnější, a proto zatím nehrozí rozsáhlejší zavedení tohoto materiálu na světový trh [17],[19].

Po odstranění olejové frakce existují další způsoby zpracování zbytků z kávové sedliny. Stále je zde obsaženo velké množství sacharidů, z kterých je po hydrolýze a fermentaci možné získat další hodnotné produkty (bioetanol, bio uhlí, bio olej, bioplyny). Tento materiál také lze procesem pyrolýzy úplně rozložit nebo naopak přecistit a použít jako topivo.

Bioetanol

Díky bohatému obsahu sacharidů má kávová sedlina potenciál pro výrobu bioetanolu pomocí bakterií *Saccharomyces cerevisiae*. Nejprve je kávová sedlina hydrolyzována kyselinou sírovou, čímž dochází k rozpadu lignocelulózových řetězců na jednodušší a pro bakterie lépe metabolizovatelné sacharidy. Proces probíhá v anaerobním prostředí při teplotách okolo 30 °C. Konverze dosahuje výtěžku až 4 hm. % [17].

Bio uhlí, bio olej a bioplyny

Pyrolýza představuje proces termochemické přeměny materiálu na uhlí, olej a plyny za nepřístupu vzduchu. Pokud je spalována biomasa, získáváme bio uhlí, bio olej a bioplyny. Produkty pyrolýzy mají další široké využití. Bio uhlí se používá jako půdní aditivum, jelikož díky své struktuře dokáže dobře vázat a zadržovat vodu v půdě. Zároveň umožňuje její lepší provzdušňování, podporuje mikrobiální aktivitu a transfer živin. Při přímém spalování bio oleje je produkováno velké množství energie, a proto má bio olej velký potenciál v náhradě ropy. Bioplyny produkované pyrolýzou biomasy zahrnují CO₂, CO, CH₄ a vyšší uhlovodíkové sloučeniny. Při adekvátním poměru těchto těkavých plynů je možné je využívat jako palivo [20].

Topivo

Díky vysoké tepelné kapacitě se ve velkých průmyslových zařízeních kávová sedlina využívá také jako topivo. Vysušená extrahovaná sedlina se čistí a poté tvaruje nejčastěji do pelet. Ke spalování tohoto materiálu pro získání energie je zejména využíváno v podnicích pro výrobu instantní kávy, kde je takového odpadu mnoho [16]. Nevýhodou tohoto využití je tvorba skleníkových plynů, které jsou uvolňovány do atmosféry, čímž přispívají ke zvyšování znečištění ovzduší [21] a negativním dopadům na životní prostředí.

Využití kávové sedliny v zemědělství

Je známo, že bio uhlí získávaný z biorafinace kávové sedliny zlepšuje fyzikální vlastnosti půd. Velký význam v zemědělství ovšem hrají také minerální látky obsažené v kávové sedlině, které přispívají k obohacování půdy o nezbytně důležité minerály a stopové prvky, čímž podporují růst plodin. Kávová sedlina se v zemědělství nejčastěji kompostuje s další organickým odpadem, čímž dochází k odstranění jejích fyto toxických sloučenin. Kompostování probíhá za stálého provzdušňování materiálu a za konstantní teploty. Santos et al. [21] zjistili, že po kompostování směsi kávové sedliny s akácií dochází k poklesu obsahu fenolů a taninů, ke zvýšení množství kyseliny gallové, snížení emisí CH_4 a N_2O a k tvorbě vysoce kvalitního hnojiva.

Stejně jako použití bio uhlí také přídavek kávové sedliny zlepšuje fyzikální vlastnosti půdy. Ovlivňuje především hydrologické vlastnosti a pH, jejich míra závisí především na druhu půdy. Zlepšení zádrže vody v půdě se projevuje již po 5% hmotnostním přídavku kávové sedliny, neboť dochází ke zvýšení vodní kapacity půdy a schopnosti půdy vázat vodu, což je způsobeno strukturou, a hlavně její pórovitostí. Acidita půdy se s přídavkem kávové sedliny zvyšuje. Výjimku tvoří jílovité půdy, které na rozdíl od písčitých či hlinitých půd jsou schopny díky složení a velikosti svých částic vyrovnávat změny pH [22].

2.2 Půda

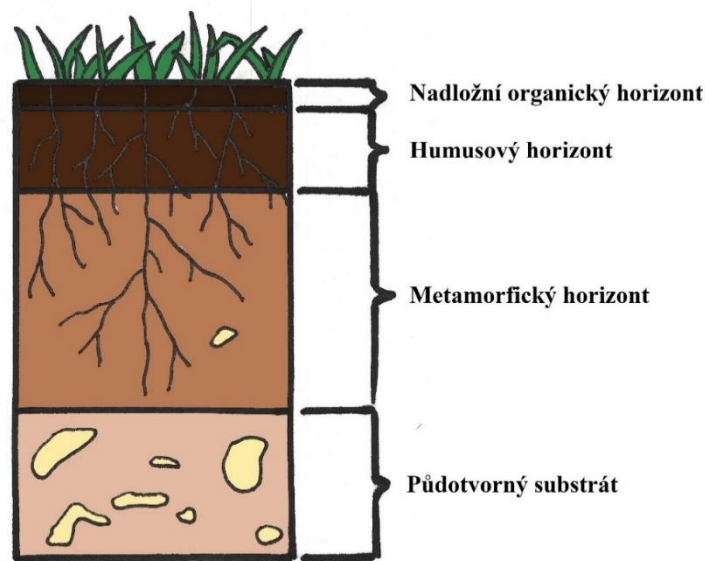
Tato práce je zaměřena na využití kávové sedliny pro zemědělské účely. V zemědělství hraje jednu z nejvýznamnějších rolí půda, proto je vhodné ji definovat, zmínit její funkci a vlastnosti.

Půda představuje neobnovitelný přírodní zdroj sloužící jak k produkci potravin, tak k tvorbě krajiny – ekosystému. Kultivace půdy byla odjakživa součástí lidské činnosti, její rekultivaci se lidstvo snaží o zlepšení nebo obnovu vlastností půd, které jsou výhodné pro život a zejména pro pěstování plodin [23].

2.2.1 Klasifikace půd

Pro klasifikování existuje několik různých systémů, které půdy třídí podle rozdílných hledisek. V roce 2000 byl v České republice vytvořen tzv. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky (TKSP) a na našem území je jako jediný platný. Má výhodu, že je kompatibilní se všemi ostatními světovými klasifikačními systémy. Základními klasifikačními kategoriemi jsou půdní typy, ty se rozlišují podle obsahu charakteristických horizontů v pedonu [24]. Půdní horizont představuje vrstvu půdy, která má dané fyzikální a chemické vlastnosti odvozené od půdotvorných procesů. Z jejich výskytů se odvíjí úrodnost půdy.

Mezi základní půdní horizonty (obrázek 5) patří *nadložní organický horizont*, který zahrnuje nejsvrchnější vrstvu hromadícího organického materiálu, *humusový horizont* obsahující rozloženou organickou hmotu a humus, které jsou promíchávány s minerálním podílem půdy, *metamorfický horizont*, jež je tvořen převážně jíly, humusovými látkami a minerály, a *půdotvorný substrát*, který vzniká zvětráváním matečné horniny [25].



Obrázek 5: Půdní horizonty [24].

Typy půd jsou si v místech se stejně působícími půdotvornými činiteli obvykle podobné. Jejich základní dělení je na černozemě, hnědozemě, pseudogleje, fluvizemě, luvizemě, rendziny a gleje. Černozemě představují nejúrodnější typ půd, nachází se zejména v nížinách teplejších oblastí a vyznačují se hnědou až černou barvou. Hnědozemě mají oproti černozemím barvu světlejší, jsou ale také považovány za úrodné půdy vhodné pro zemědělství, nalézají se hlavně v rovinných nížinách a mírných pahorkatinách. Pseudogleje jsou méně úrodné půdy často využívané jako louky, jejich přírodní význam tkví v zadržování vody. Fluvizemě se rozkládají v okolí řek, na jejich úrodnost má vliv proměnlivý obsah podzemní vody. Luvizemě se vyskytují ve vyšších nadmořských polohách, což se projeví v nižším obsahu dostupných živin, a tedy úrodnosti. Rendziny představují typ hnědých lesních půd vyskytujících se jak v nížinách, tak ve vyšších polohách hor, nejsou vhodné pro pěstování plodin, využívají se jako louky. Gleje se nacházejí v nížinách a nivních oblastech, jsou trvale podmáčené a slouží především jako louky [26].

2.2.2 Složení půd

Půda je heterogenní polydisperzní systém tvořený pevným, kapalným i plynným skupenství. Plynné skupenství v půdě reprezentuje rozptýlený vzduch, který vyplňuje volné půdní póry. Přítomnost vzduchu v půdě napomáhá mineralizaci látek a zvyšuje biologickou aktivitu některých mikroorganismů [27].

Kapalná fáze půdy zahrnuje především vodu, respektive vodné roztoky s obsahem minerálních a organických sloučenin, které zajišťují dostupnost živin do kořenové soustavy rostlin. Jedná se o tzv. vertikální transport látek. Horizontální transport látek je často příčinou ztrát živin z důvodu jejich poklesu do nižších vrstev půdy, kde je kořeny již nejsou schopné využít. Složení vodného roztoku závisí na fyzikálních i chemických podmínkách půdy. Mezi nejčastěji se vyskytující minerální kationty patří Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} a H^+ . V kyselých půdách se dále mohou vyskytovat ionty Al^{3+} a Fe^{3+} . Další prvky jsou zde obsaženy pouze ve stopových koncentracích. Nejvíce zastoupenými anionty půdy jsou HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- [24].

Tuhou fázi půdy lze rozdělit na minerální a organický podíl. Minerální podíl je v půdě zastoupen z 95–98 %, lze ho rozdělit na *jílové minerály*, například montmorillonit, kaolinit nebo illit a jejich složení závisí na typu půdy, *oxidy a hydroxidy*, které vznikají mineralizací

organických zbytků nebo zvětráváním primárních minerálů, a *primární minerály* vyskytující se v podobě větších částic, například křemen, živec nebo slída atd.

Organického podíl zahrnuje organické látky nehumifikované, přechodné a humifikované. Nehumifikované organické látky představují nerozložitelné zbytky rostlin, živočichů a organických hnojiv, které jsou za účasti mikroorganismů procesem mineralizace přeměňovány na vodu, oxid uhličitý, čpavek a minerální ionty. Humifikované organické látky vznikají procesem humifikace za omezeného přístupu vzduchu, tvoří tzv. humus – složité organické nebo organominerální dusíkaté látky. Lze je dále rozdělit na *huminové kyseliny*, které jsou považovány za nejkvalitnější složku humusu, jelikož svým složením příznivě ovlivňují vlastnosti půd, zlepšují soudržnost lehkých půd a drobivost a zpracovatelnost půd těžkých, *fulvokyseliny* a jejich soli, které díky své rozpustnosti ve vodě významně ovlivňují tok látek v půdě, a *huminy* tvořené huminovými kyselinami, často vázané na jílové minerály, které jsou odolné vůči působení kyselin, zásad a mikroorganismům [28].

Složení půdy je neustále obohacováno o odumřelý rostlinný odpad, odpadní látky živočišného metabolismu a živočišné mrtvolky, ze kterých vzniká humus. Humus lze rozdělit dle rozložitelnosti organických zbytků na mor, moder a mul. Lidskou činností vzniká *humus agro amphi* [29],[31].

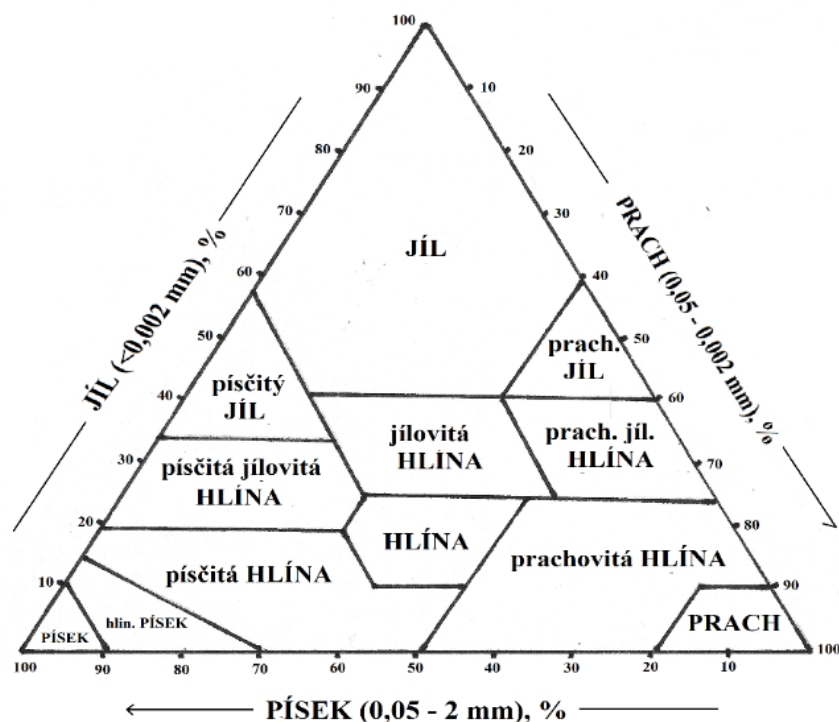
Mor vzniká při nepříznivých podmínkách pro rozklad, většinou působením plísní a hub na kyselých a minerálně chudých půdách. K jeho tvorbě přispívá opad jehličí. Mul se tvoří naopak za příznivých podmínek pro rozklad na živinami dobře zásobených půdách při současně intenzivní činnosti zooedafonu v mírném až teplém podnebí. K jeho tvorbě je vhodný listnatý nebo smíšený porost. Moder reprezentuje přechod mezi morem a mulem. Výrazná je u něho činnost půdní fauny, vzniká jak z jehličnatého, tak z listnatého porostu. Agro amphi je charakterizován jako antropogenní humus se zbývajícím vrstvou organické hmoty na povrchu. Tangel je složen ze silné (100 cm) zoogenní organické vrstvy, která se tvoří na tvrdém karbonátovém podloží. Tvoří se zejména v Severních vápencových Alpách [30],[31],[32].

2.2.3 Fyzikální vlastnosti půd

Nejen složení, ale také fyzikální vlastnosti půd mají v zemědělství významný vliv na pěstování a výtěžnost plodin. Úrodnost půd je nejvíce ovlivňována zrnitostí, strukturou, barvou a obsahem vody [24].

Zrnitost

Zrnitost neboli textura představuje fyzikální vlastnost půdy, která charakterizuje frakcionaci jejích částic, a podle které lze půdu rozdělit na jednotlivé půdní druhy. Mezi základní půdní druhy patří půdy jílovité (těžké), hlinité (střední) a písčité (lehké) a půdy mezi nimi přechodné. Určení půdního druhu se provádí pomocí trojúhelníkových diagramů (obrázek 6), které udávají procentuální složení částic pro každý druh. Dle velikosti lze částice rozdělit na šterk (<2 mm), písek (2–0,05 mm), prach (50–2 µm) a jíl (>0,2 µm) [22][24].



Obrázek 6: Trojúhelníkový diagram rozdělení půd dle procentuálního zastoupení částic [24].

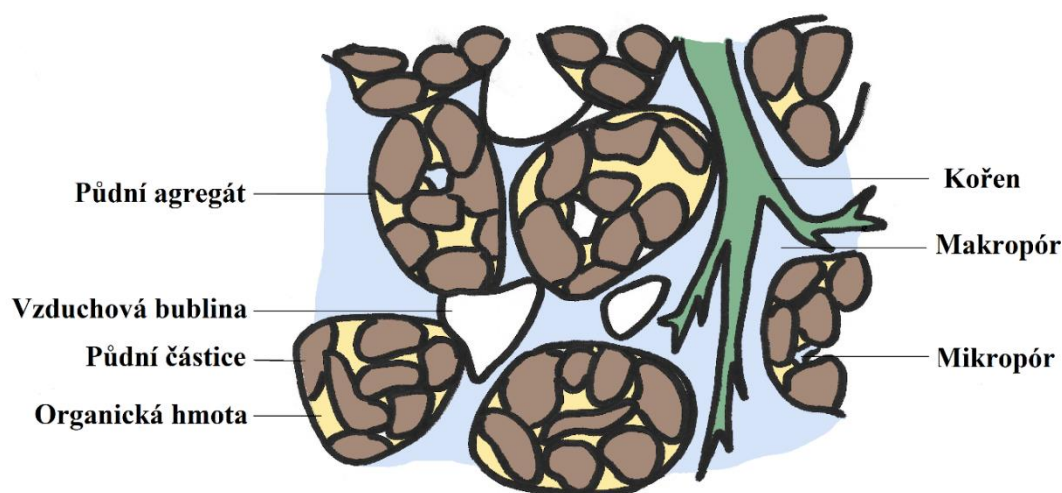
Složení půdy má velký vliv na zadržování vody, například písčité půdy vodu propouští, jílovité naopak zadržují [31]. Při působení stejných půdotvorných faktorů v daných oblastech mají stejně velké částice obvykle stejné složení, například v mírném podnebném pásu jsou větší půdní částice tvořeny křemenem, případně dolomitem nebo kalcitem, v tropech jsou to z důvodu intenzivnějšího zvětrávání oxidy železa nebo hliníku. Jílovité částice tvoří hlavně jílové materiály nebo sesquioxidy. Často se vyskytují jako látky koloidního charakteru [24].

Struktura

Struktura půdy (obrázek 7) je závislá na shlukování částic do větších celků (agregátů) a na velikosti, tvaru a distribuci pórů. To má velký vliv na obsah a zadržování vody a vzduchu v půdě a na její teplotu. Kromě samotného vývoje půdy mají na tvorbu struktury vliv také fyzikální, chemické a biologické faktory. Mezi fyzikální faktory patří vysychání, zvlhčování půdy, mrznutí a tání. Póry lze dělit dle velikosti na makropóry (průměr $>50 \mu\text{m}$) a mikropóry (průměr $<50 \mu\text{m}$). To je důležité z hlediska zadržování vody – většími póry se voda může pohybovat rychleji, jsou zaplňovány jako první, a naopak při vypařování se voda drží jen v pórech malých. Hodnoty pórovitosti pro jednotlivé typy půdy jsou uvedeny v tabulce 2 [24].

Tabulka 2: Pórovitost u vybraných druhů půd [33].

	Pórovitost [% obj.]
Těžká půda	50-70
Střední půda	45-55
Lehká půda	35-45



Obrázek 7: Popis půdní struktury.

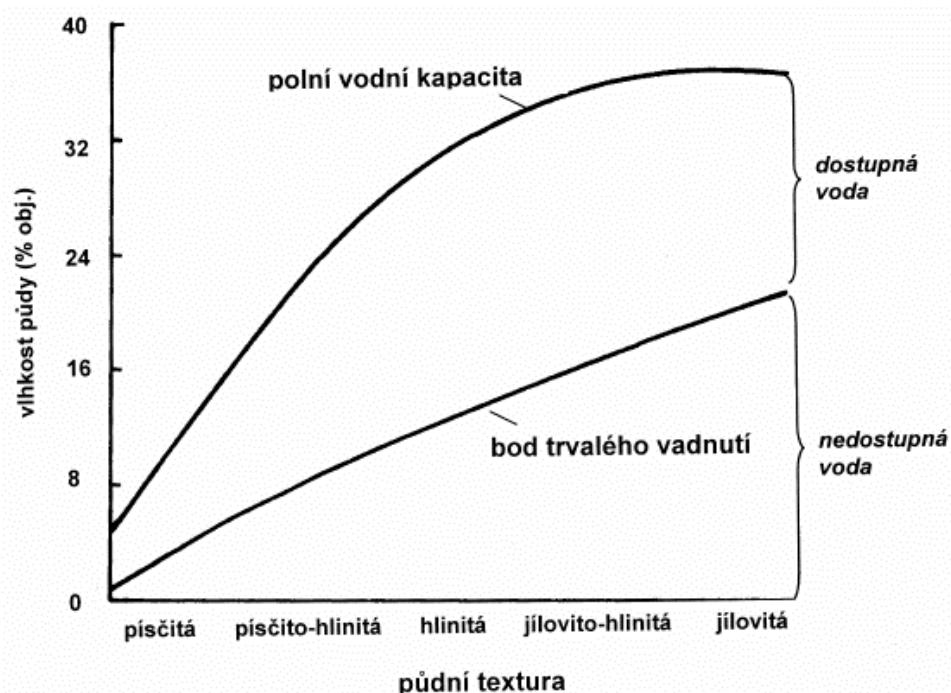
Barva a teplota

Barva půdy vypovídá o procesech, které se zde odehrávají. Je udávána hlavně obsahem organické hmoty, dále také obsahem vody a vzduchu. Nejvýznamněji se na barvě půdy podílí sloučeniny železa vyskytující se v podpovrchových horizontech půdy, které vznikají na základě působení vody a vzduchu. Hematit (Fe_2O_3) obsahuje oxidované a dehydratované železo, které způsobuje červené zabarvení půdy. Naopak oxidované a hydratované železo goethitu (FeOOH) je charakteristické žlutavě hnědým zbarvením. Pro redukované a hydratované sloučeniny železa je typická šedá barva. Bílé zbarvení půd je způsobeno akumulací solí nebo vápence.

Teplota je vlastnost půdy ovlivňující jak její vývoj, tak fyzikální, chemické a biologické procesy. S klesající teplotou dochází k útlumu aktivity půdních mikroorganismů a živočichů, pod bodem tuhnutí začíná voda v půdě mrznout, rozpínat se, což má za následek vznik prasklin a puklin. Naopak zvyšování teploty, které je způsobeno absorpcí převážně slunečního záření, závisí na barvě, obsahu vody, vegetaci, sklonu terénu nebo míře vystavení povrchu slunečním paprskům. Tmavší půdy pohlcují světelnou energii více, ale obecně obsahují více organického materiálu a vody než půdy světlejší a jejich teplota může být při působení stejných podmínek stejná nebo i nižší. Pro udržování konstantní teploty půdy se využívá proces mulčování, což je pokrytí zeminy různým materiálem (např. štěpka, kameny atd.), který zároveň brání růstu nežádoucích plevelů [24].

Obsah vody

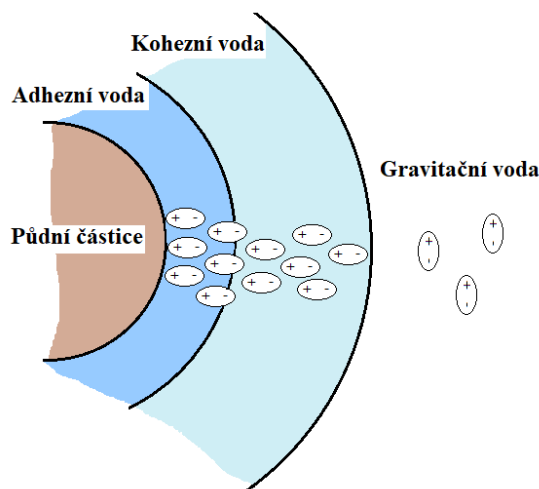
Daný půdní druh je schopný pojmout pouze určité maximální množství vody – to se nazývá maximální vodní kapacita a je v ní zahrnuta voda adhezní, kohezní i gravitační, její teoretická hodnota je rovna pórovitosti půdy. Polní (kapilární) vodní kapacita představuje vodu vázanou kapilárně, tedy adhezní a kohezní. Také textura půdy souvisí s dostupností vody, čím více jemných částic půda obsahuje, tím je pro rostliny voda hůř dostupná (Obrázek 8). Jílovité půdy jsou schopny pohltit vody nejvíce, ale kvůli obsahu malých prachových částic je voda špatně dostupná. Pokud dojde k vyčerpání veškeré dostupné vody, nastává bod trvalého vadnutí [24].



Obrázek 8: Závislost procentuálního obsahu vlhkosti na půdním druhu [24].

Díky jedinečným chemickým vlastnostem lze vodu v půdě rozdělit podle vazeb, které vytváří jak mezi svými molekulami a půdními částicemi, tak mezi svými molekulami navzájem. Jedinečné vlastnosti molekul vody umožňují jejich navázání na půdní částice, ale zároveň i vazbu mezi nimi samotnými.

Dle vazeb lze vodu v půdě rozdělit na adhezní, kohezní a gravitační (obrázek 9). Adhezní voda je k půdními částicím vázána pomocí negativního náboje kyslíku, její odstranění z půdy je možné pouze umělým vysoušením. Další vrstvu tvoří voda kapilární (kohezní), která je kohezními silami poutána k vodě adhezní. Síla vazeb se zvětšující se vzdáleností od povrchu pevných částic slabne, a proto je tato voda mnohem lépe přístupná k jiným procesům. Na přechodu mezi plynnou a kapalnou fází vzniká v důsledku kohezních sil povrchové napětí, což znamená, že vzájemné síly mezi molekulami vody jsou větší než síly mezi molekulami vody a okolního plynu. Gravitační voda se půdou pohybuje pouze působením gravitace a je rychle odnášena pryč [24].



Obrázek 9: Formy půdní vody [24].

2.2.4 Analýza půdního vzorku

Za účelem pěstování plodin je nutná co nejlepší úrodnost půdy, která je spjata s jejími fyzikálními i chemickými vlastnostmi. Ve vyhlášce ministerstva zemědělství č. 275/1998 Sb. o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků je popsán postup pro jejich stanovování [34].

Odběr vzorku půdy

Odběr vzorku půdy pro analýzu se provádí buď v jarním období od 1. února nebo v podzimním od 1. července. Zkoumaná plocha musí být jednotně obhospodařovaná, to znamená, musí obsahovat stejný druh rostoucí plodiny. Odběr se provádí sondovacími tyčemi (obrázek 10), pro získání jednoho vzorku je nutné minimálně 30 vpichů. Plocha pro odběr se liší podle ekologického typu půdy, například pro ornou půdu nebo trvale travnaté porosty odpovídá plocha až 10 ha, chmelnice či ovocné sady 3 ha a vinice 2 ha [35].



Obrázek 10: Sondovací tyč.

Na úrodnost půdy má velký vliv půdní druh, lze jej stanovit hlavně dle zrnitosti, která je charakterizována obsahem jílovitých částic. Ovlivňuje schopnost půdy vázat vodu, její pufrovitost, tedy i obsah přítomných živin nebo mikroorganismů. V České republice se půdní druhy určují podle komplexního průzkumu půd (KPP) z roku 1961 [36].

Stanovení vodní kapacity půdy

Stanovení vlhkosti a vodní kapacity se provádí gravimetricky. Vlhkost půdy lze určit jako rozdíl hmotnosti půdy před a po jejím 6 hodinovém sušení v sušárně. Vodní kapacita představuje množství vody, které je půda schopná vázat, což se liší podle půdního typu. Kapilární kapacita se stanovuje pomocí válečku, který se naplní předem vysušenou půdou, umístí se do vody tak, aby byl asi z poloviny zatopený a ponechá se k sorbování vody po dobu minimálně 24 hodin. Po jejím uplynutí se váleček s půdou vyjme a na 2 hodiny se položí na filtrační papír. Vodní kapacita se stanoví jako rozdíl hmotností suché půdy a mokré půdy po 2 hodinovém odsávání filtračním papírem [33].

Extrakce půdy a stanovení pH

Ve výživě rostlin hrají dále důležitou roli také půdní reakce a zejména pH, což je definováno záporným dekadickým logaritmem koncentrace vodíkových kationtů v roztoku a měří se potenciometricky nejčastěji z vodného extraktu půdy. Charakterizuje výsledek pedologických pochodů, mikrobiální činnosti nebo působení hnojiv. Extrakce půdy probíhá po 1 hodinu na třepače. Výslednou aciditu půdy lze rozdělit do 6 skupin dle hodnot pH uvedených v tabulce 3.

Tabulka 3: Rozdělení půd dle hodnot pH [27].

	pH
Silně kyselá	<4,9
Kyselá	4,9–5,9
Slabě kyselá	5,9–6,9
Neutrální	7
Slabě zásaditá	7,1–8,0
Zásaditá	8,0–9,4
Silně zásaditá	>9,4

Stanovení půdních prvků

Mezi základní stanovované přístupné živiny v půdě patří fosfor, draslík, vápník a hořčík. Při podezření na vstup nežádoucích látek do půdy se provádějí rozborů na stopová množství prvků arsenu, beryllia, kadmia, kobaltu, chromu, mědi, rtuti, niklu, olova, vanadu a zinku [38]. Pro jejich stanovení existuje mnoho různých metod. Nejjednodušší a nejrychlejší metodou pro jejich stanovení je optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES), nebo hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, které umožňují stanovit všechny prvky z jednoho roztoku.

2.3 Hnojiva

Mimo příznivé vnější faktory, jako jsou světlo, teplo, vzduch a voda, potřebují rostliny ke svému růstu i řadu minerálních látek, jejichž druh a množství závisí na jejím typu. Uhlík, kyslík a částečně síru jsou rostliny schopné získávat z ovzduší, vodík rozkladem vody a ostatní minerální látky z půdy [39].

Opakovaným pěstováním plodin v půdě dochází k úbytku jejího minerálního podílu a je nutné ho zpět doplňovat. Zdroje minerálního podílu můžeme rozdělit na vnitřní a vnější. Rozklad organické hmoty, vznik humusu a následná mineralizace představuje vnitřní zdroj organických látek. S rostoucími nároky na výnosy zemědělských plodin je ovšem nutné půdě dodávat také vnější zdroj, a tím jsou hnojiva [40].

Hnojiva jsou látky přidávané do půdy, aby zajistily dostatek živin pro růst a produktivitu rostlin. Mohou být dvojího typu, komerční nebo organická. Komerční hnojiva reprezentují uměle vyrobené chemické směsi označované pod značkou NPK (obrázek 11), která vyjadřuje procentuální zastoupení v něm obsažených prvků (dusíku, fosforu a draslíku). Organická hnojiva jsou tvořena materiálem s rostlinným nebo zvířecím původem [41].

Tabulka 4: Charakteristika organických hnojiv [41].

Hnojivo	C : N	N [%]	P [%]	K [%]
Pšenice	100	0,5	0,1	1,1
Kukuřice	55	0,6	0,3	1,3
Mořské řasy	17	0,7	0,3	1,2
Dobytčí hnůj	19	1,9	0,6	1,4
Drůbeží hnůj	12	3,8	1,9	1,8
Čistírenský kal	10	4	1,4	0,3

2.3.1 Komerční hnojiva

Komerční hnojiva jsou synteticky vytvořené směsi prvků a sloučenin, které slouží k obohacování minerálního podílu půdy a zajištění lepší výnosnosti plodin. Obsažený dusík se v nich obvykle vyskytuje v elementární formě, fosfor jako anhydrid kyseliny fosforečné a draslík je vázán v oxid draselný. Žádné z komerčních hnojiv neobsahují dávku všech živin potřebných pro růst a vývoj plodin, ale pouze primární prvky a jejich sloučeniny. K dosažení vyšší výnosnosti plodiny je obvykle nutné dodat jeden z deficitních prvků, který rostlině chybí. Ovšem ekonomicky je výhodnější používání komplexních hnojiv obsahujících vyváženou směs všech živin.



Obrázek 11: Komerční hnojivo [42].

Prvky se v hnojivech zřídka vyskytují v čisté formě, jelikož většina z nich není takto plodinami přijímána, proto jsou vázány v anorganických sloučeninách, které jsou lépe přístupné osmotické absorpci. Mnoho komerčních hnojiv obsahuje sloučeniny, které jsou zpracovatelné výhradně plodinami, pro které jsou hnojiva určena. Některé sloučeniny jsou navrženy tak, aby se do půdy uvolňovaly postupně nebo s opožděným nástupem účinku, což vede k trvalejšímu zásobování během růstu. Mnoho hnojiv je vyráběno také jako vedlejší produkt při přípravě různých chemických sloučenin [41].

2.3.2 Přírodní hnojiva

Organická hnojiva na rozdíl od komerčních neobsahují žádné primární ani sekundární živiny, ale jsou tvořeny organickým materiálem, který je po aplikaci do půdy plodinami rozkládán. Mohou být aplikovány za účelem změny chemických nebo fyzikálních vlastností půdy. Pokud

jsou organická hnojiva dodávána do půdy hlavně kvůli obsahu živin, mnohem více než obsah jednotlivých prvků je důležitý poměr mezi uhlíkem a dusíkem (C:N).

U materiálů s vysokým poměrem C:N je nižší pravděpodobnost uvolňování nebo mineralizace dusíku a ostatních prvků. To může vést ke snížení jejich dostupnosti z důvodu jejich spotřebovávání půdními mikroorganismy, které je rozkládají. Nižší podíl C:N, jež je typický například pro hnůj, uvolňuje a mineralizuje látky mnohem snadněji a není zde takové riziko mikrobiální kontaminace. V Tabulka 4 je uveden poměr C:N a procentuální obsah dusíku, fosforu a draslíku pro vybrané druhy používaných organických hnojiv [41].

Výhodou organických hnojiv oproti komerčním je pomalejší a postupné uvolňování živin do půdy, což může zabránit jejich vyplavování vodou. Navíc organické materiály zlepšují také fyzikální vlastnosti půdy například pronikání a zadržování vody nebo provzdušňování půdy. Mohou také působit jako stabilizátory pH nebo látky redukující fytotoxický efekt hliníku, železa a manganu v kyselých půdách. Nevýhodou organických hnojiv může být neúplně zanalyzovaný obsah všech přítomných živin, což může po použití vést k jejich nevyváženému poměru v půdě. Oproti komerčním hnojivům je třeba dávkování většího objemu a váhy, což se ekonomicky odrazí na transportu a nutné práci při jejich aplikaci [41].

2.3.3 Chemické složení hnojiv

Rostliny nejsnadněji absorbují a využívají konkrétní druhy sloučenin obsahující atomy prvků nezbytné pro jejich růst. Snahou výrobců je proto dodávat hnojiva obsahující tyto formy látek, nebo zajistit podmínky pro jejich vznik v půdě.

Dusík

V rostlinách tvoří dusík významnou stavební částici aminokyselin, amidů, bílkovin, nukleových kyselin, chlorofylů, enzymů atd. Nedostatek dusíku v rostlinách se projevuje prodloužením doby klíčení a tvorby pupenů, menší velikostí listů a plodů a často dochází k předčasnému uvadání [42].

V hnojivech se může vyskytovat ve formě amoniaku, dusičnanů amonných, dusičnanů sodných nebo močoviny. Většina druhů rostlin nemá schopnost zpracovávat vzdušný dusík a musí jej získávat z půdy nejlépe ve formě dusičnanů. Problémem samotných dusičnanů je jejich rozpustnost ve vodě a nereaktivnost se složkami půdy, a proto můžou být snadno odplavovány z dosahu kořenů rostlin. Při anaerobních podmínkách může také docházet k denitrifikaci dusičnanů bakteriemi a vzniku plynného dusíku (N_2), který je uvolňován do atmosféry. Proto se v hnojivech často aplikuje dusík v jiné formě, která je různými procesy v půdě přeměněna na rostlinami vstřebatelné sloučeniny [41].

Schopnost zpracovávat vzdušný dusík (N_2) mají pouze rostliny čeledi bobovitých, na jejichž kořenech se díky symbióze s bakteriemi *Rhizobium* vytváří útvary schopné jeho fixace. Vztah mezi bakterií a rostlinou je symbiotický, rostlina poskytuje bakterii zdroje uhlíku a kyselinou glutamovou, bakterie na oplátku zásobuje rostlinu amonnými kationty, alaninem a serinem. Ke zvýšení produkce bobovitých rostlin jako je hrách nebo čočka se v dnešní době využívá očkování osiva bakteriemi *Rhizobia* [43].

Bezvodý amoniak představuje v kapalných hnojivech největší zdroj dusíku. Amoniakální ionty zachycené na půdních koloidech jsou pomocí nitrifikačních bakterií přeměňovány na dusičnanové ionty. Amoniak je snadno rozpustný a v kapalných hnojivech se vyskytuje ve formě silně zásaditého hydroxidu amonného. Dusičnan amonný je bílá anorganická sůl, která se v půdě snadno rozpouští. Dusičnany jsou kořeny rostlin využívány přímo, amonné ionty v půdě jsou nitrifikačními bakteriemi nejprve transformovány na dusičnany. Hnojivo

obsahující dusičnan sodný je vhodný pro pěstování zejména bavlny nebo řepy. Jeho jediná komerčně významná ložiska se nacházejí v Chile, proto se mu přezdívá ledek chilský.

V pevném skupenství je nejvyšším zdrojem dusíku hnojivo obsahující močovinu. Kvůli její vysoké kritické relativní vlhkosti je důležité ji skladovat v suchých podmínkách. Má nízký bod tání, což umožňuje její snadné míchání s jinými pevnými součástmi hnojiv. Reaguje s fosfáty, díky čemuž je možná tvorba jejich homogenní granulové směsi [41]

Fosfor

Fosfor je složkou lecitinu a dalších fosfolipidů. Jeho obsah v rostlinách se rovná asi třetině obsahu dusíku, vyšší hodnoty byly nalezeny pouze v obilných klíčcích a otrubách. Jeho nedostatek se stejně jako v případě dusíku projeví prodloužením doby klíčení a vzniku pupenů, potlačením tvorby postranních pupenů, roste tedy nerozvětvená štíhlá rostlina. Pro některé rostliny je také charakteristický fialový nádech (obrázek 12). Často dochází také ke změnám ve složení rostlin, hlavně ke hromadění sacharózy, redukujících cukrů a někdy škrobu [42].



Obrázek 12: Projevy nedostatku fosforu u salátu [47].

Elementární fosfor se v přírodě nevyskytuje, proto se jako hnojivo používá drcený fosforit, což je hornina s vysokým obsahem fosfátů [45]. Přístupnost P_2O_5 závisí na pH půdy a na jejím minerálním podílu, ale i přes nejvhodnější podmínky probíhá jeho uvolňování do půdy velice pomalu [44].

Síra

Síra se hojně vyskytuje v rostlinné tkáni a má vliv na výtěžnost. Je součástí aminokyselin methioninu a cysteinu a její obsah tedy ovlivňuje produkci proteinů. Při nedostatku mají rostliny bledě zelenou barvu s červenými až fialovými skvrnami. Síra je zodpovědná za charakteristický odér hořčice, česneku a cibule. Rostliny přijímají síru ve formě síranových aniontů [41],[44],[46].

Draslík

Draslík má několik významných funkcí v metabolismu rostlin, účastní se procesu fotosyntézy a dýchání, ovlivňuje tvorbu sacharidů a metabolismus dusíkatých látek, působí jako aktivátor enzymů, ovlivňuje osmotický tlak a tím vodní režim rostlin. Nedostatek draslíku souvisí s deficiencí fosforu, projevuje se uvadáním starších listů. V některých rostlinách je nedostatek draslíku spojen s chlorózou (ztráta chlorofylu) rostlin, která je způsobena malým příjmem železa, může vést ke zvýšení poměru obsažených organických a anorganických sloučenin fosforu [44],[46].

Nejrozšířenější draselné hnojivo je ve formě krystalické chloridové soli. Další používanou sloučeninou je sulfát draselný vhodný zejména pro plodiny citlivé na chlór, jako je například tabák [44],[46].

Vápník a hořčík

Vápník zastává v metabolismu rostliny několik důležitých funkcí, například je stavební látkou, má vliv na propustnost membrán, ovlivňuje aktivitu enzymů atd. Je přijímán ve formě vápenných kationtů. Nedostatek se projeví odumíráním kořenové soustavy nebo kropenatostí listů. Mimo doplnění minerálních látek plodinám zlepšují vápenatá hnojiva také strukturu půdy a zvyšují její pH, což může mít pozitivní vliv na aktivitu půdních mikroorganismů.

Hořčík je centrálním prvkem chlorofylu, který je nezbytný pro fotosyntézu. Jeho nejvyšší koncentrace se vyskytují v zelených částech rostlin. Projevy nedostatku jsou viditelné nejdříve na starších listech jako oranžové růžové nebo červené skvrny. V půdě se vyskytuje hojně ve formě karbonátů nebo silikátů, běžně používané hnojivo obsahuje $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ [41],[46].

Mikronutrienty

Mezi mikronutrienty patří bor, kobalt, měď, železo, mangan, molybden a zinek. Pro růst rostlin jsou esenciální, ale oproti makronutrientům v menších množstvích. K vyčerpání těchto prvků z půdy může docházet následkem dlouhodobějšího obdělávání půd nebo jejich reakcí s používanými pesticidy, které způsobí nedostupnost mikronutrientů pro výživu rostlin. Je nezbytné zaručit, aby byly tyto prvky rozpustné v podmínkách cílové půdy, a tedy nedocházelo k jejich akumulaci, čehož se docílí přidáním jejich malého množství do NPK hnojiv [41],[46].

2.4 Instrumentální techniky využívané pro analýzu půd

Instrumentální techniky, které lze využít pro analýzu půd, lze rozdělit podle stanovovaných látek. Pro analyzování přístupných živin v půdě, zejména rozpustných prvků, se jako nejvhodnější technika jeví optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Pro stanovení minerálního dusíku, který zahrnuje dusičnanové a amonné ionty, se využívá jejich zbarvení vznikající po reakci s určitým reakčním činidlem. Změřením intenzity tohoto zbarvení pomocí viditelné spektrofotometrie lze poté získat koncentraci minerálního dusíku obsaženého v půdním extraktu.

2.4.1 Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem je instrumentální analytická technika, která slouží ke stanovení obsahu prvků ve vzorcích v kapalně fázi. Je založena na měření intenzity energie (fotonu), která je vyzářena při návratu excitovaných elektronů na původní energetické hladiny. Intenzita emitovaného záření závisí na koncentraci analytu.

Kapalné vzorky se nejprve ve zmlžovači převádí na aerosol a dále se v mlžných komorách tříští, čímž vznikají částice s průměrem do 10 μm , které jsou injektorem přiváděny do plazmatu. Plazma se vytváří většinou ze vzácných plynů, nejčastěji argonu, jelikož mají jednoduchá emisní spektra a jsou málo reaktivní [48].

Spektrometr tvoří dvě části, optický a disperzní systém. Na vstupu spektrometru je světlo, které vydává plazma a které se šíří dále přes čočku nebo soustavu čoček na difrakční mřížku a monochromátor, nejčastěji typu Czerny-Turner. Zpracování signálu pak probíhá nejčastěji na fotonásobiči, kde se světelná energie převádí na elektrickou pomocí fotocitlivé vrstvy na fotokatodě [49].

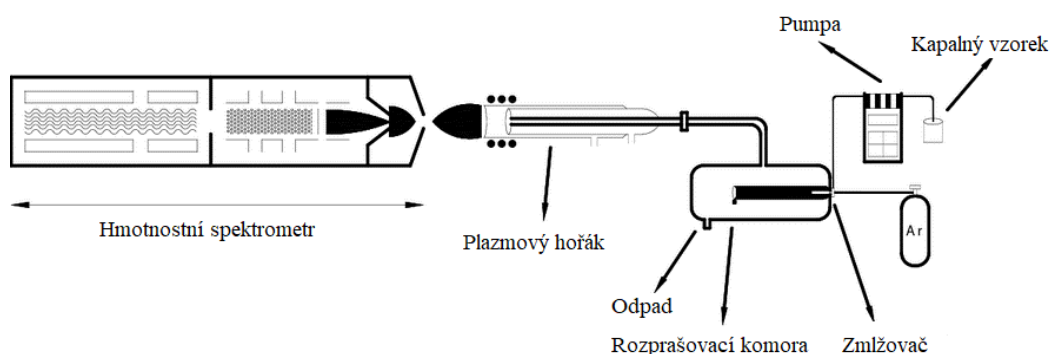


Obrázek 13: Optický emisní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem [50].

2.4.2 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

Hmotnostní spektrometrie je založena na rozdělení iontů na základě poměru jejich hmotnosti a náboje. K ionizaci vzorků mohou být využity různé iontové zdroje (např. elektronová ionizace, chemická ionizace, MALDI, elektrosprej), ale pro analýzu pŕůdních vzorků je nejvhodnější ionizace indukčně vázaným plazmatem.

Přeměna analytického vzorku na ionty probíhá stejně jako u ICP-OES, ty jsou vedeny do separátoru iontů (kvadrupól, iontová past, průletový separátor), kde jsou odděleny ionty o poměru hmotnosti a náboje daného zadaného rozsahu. Jejich četnost, a tedy koncentrace prvků v původním analytu, je poté stanovena pomocí detektoru, kterým je nejčastěji elektronový násobič [48].

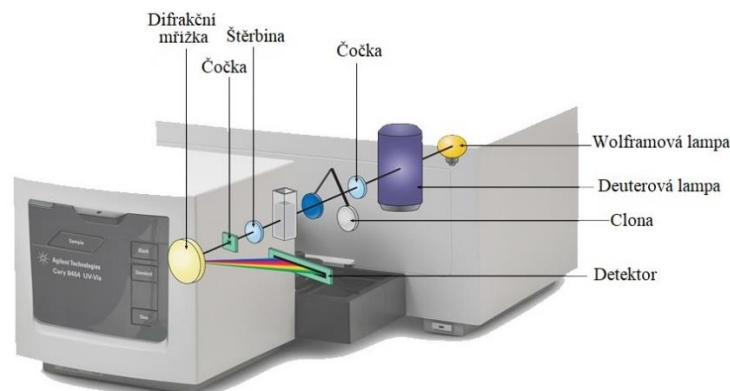


Obrázek 14: Schéma hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem [51] .

2.4.3 UV-VIS spektrometrie

Tato technika je založena na absorpci ultrafialového nebo viditelného záření při přechodech mezi molekulovými orbitály a excitovanými elektronovými hladinami. Typy přechodů závisí na analyzované látce a na jejich elektronech, liší se mezi sebou množstvím energie potřebné k excitaci daného elektronu. Přístroj může mít buď jednopaprskové nebo dvoupaprskové uspořádání. Zdrojem záření je deuteriová výbojka pro UV oblast, wolframová nebo wolfram–halogenová lampa pro viditelné spektrum. Další součástí přístroje je disperzní prvek, nejčastěji difrakční mřížka Czerny-Turner. Analyzovaný vzorek je umístěn do kyvety, která je vložena do přístroje. Detekce probíhá obvykle na fotonásobiči, nebo pomocí detektoru s diodovým polem [48][47].

Pro analýzu více vzorků naráz lze využít mikrotitrační destičky, do kterých se aplikují mikrolitry analyzovaného vzorku a reakčního činidla, intenzita jejich zbarvení je pomocí modifikovaného spektrofotometru stanovena zároveň.



Obrázek 15: UV-VIS spektrometr [52].

2.5 Statistická analýza

Statistická analýza slouží k získání hromadných jevů, které se opakují ve větším množství dat. K tomu je nezbytné jasně definovat statistický soubor, který zahrnuje zkoumané objekty a prvky. Výsledkem je získání statistických dat. Pro mnohonásobné porovnávání vzorků se používá analýza rozptylu.

2.5.1 Analýza rozptylu

Analýza rozptylu patří mezi základní statistické analýzy, která umožňuje porovnat nejméně dvě skupiny charakteristik, které jsou definované středními hodnotami a rozptýlením. Prvním poznatkem je, zda se dané skupiny od sebe významně statisticky liší, či nikoliv. Pokud se odhalí statisticky významné odlišnosti, lze poté zjistit, zda se od sebe liší všechny analyzované skupiny, nebo jen některé z nich [53].

Principem analýzy rozptylu je určení velikosti variability, která vzniká při porovnání rozptýlení změřených hodnot okolo jejich střední hodnoty s rozdíly těchto středních hodnot daných skupin charakteristik. Pokud jsou rozdíly středních hodnot oproti rozptýlení změřených hodnot malé, lze předpokládat, že se od sebe dané skupiny neliší. Analýzu rozptylu lze použít za podmínek, že jsou jednotlivé porovnávané skupiny mezi sebou nezávislé, mají normální rozdělení a shodný rozptyl [54].

Pro mnohonásobné porovnávání se používají dva typy metod – plánované a následné porovnávání. Plánované porovnávání se provádí před začátkem analýzy pomocí kontrastů, které představují vážené součty průměrů. Mezi nejznámější a nejpoužívanější následnou metodu patří Tukeyho test. Testuje nulovou proti alternativní hypotéze, přičemž z nulové hypotézy vyplývá, že mezi středními hodnotami jednotlivých skupin neexistuje statisticky významný rozdíl [55].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Použité vzorky půd a směsí se substráty

Pro experimenty byla jako základní využita půda z obce Hvozdec u Veverské Bítýšky, ke které byla přidávána vysušená kávová sedlina ve své přirozené formě a po biorafinaci, kdy byla upravována chemickými činidly, čímž došlo k odstranění některých jejích složek. Cílem biorafinace bylo získat sacharidický substrát, který lze dále použít pro produkci mikroorganismů se schopností tvorby PHA. Jako referenční vzorky sloužily neobohacená půda a půda, do které bylo aplikováno komerční hnojivo NPK 20:8:8 v 0,1 a 0,5 hm. %. V tabulce 5 jsou uvedeny názvy a zkratky jednotlivých vzorků směsí půdy a kávové sedliny a jejich charakteristika.

Tabulka 5: Seznam vzorků půd a jejich charakteristika.

Název vzorku	Zkratka	Charakteristika úpravy kávové sedliny
Neobohacená půda	Blank	-
Kávová sedlina přidávána do půdy ve 2 hm. %	2% SCG	-
Kávová sedlina přidávána do půdy ve 5 hm. %	5% SCG	-
Půda s přídavkem kávové sedliny po kyselé hydrolýze	SCG h	Kyselá hydrolýza byla provedena 4% H ₂ SO ₄ v tlakovém hrnci (2 hodiny, 100 °C).
Půda s přídavkem kávové sedliny po enzymatické a kyselé hydrolýze	SCG eh	Enzymatická hydrolýza probíhala pomocí <i>Phaenerochaete chrysosporium</i> po dobu 2 týdnů, poté kyselá hydrolýza jako u SCG h.
Půda s přídavkem máčené kávové sedliny po kyselé hydrolýze	SCG wh	Máčení sedliny ve vodě o teplotě 37 °C po dobu 2 hodin za stálého míchání 160 rpm, následná hydrolýza stejně jako u SCG h.
Půda s přídavkem odtučněné kávové sedliny	SCG df	Odstranění olejové frakce z kávové sedliny extrakcí n-hexanem po dobu 70 minut při 180 °C.
Půda s přídavkem oxidované kávové sedliny	SCG ox	Oxidace kávové sedliny probíhala 10 minut přídavkem anorganického oxidačního činidla, poté byl vzorek promýván destilovanou vodou.
Půda s přídavkem odtučněné kávové sedliny po oxidaci	SCG df-ox	Vzorek nejprve odtučněn n-hexanem (180 °C, 70 min) a poté zoxidován anorganickým oxidačním činidlem (10 min) a promýván destilovanou vodou.
Půda s přídavkem 0,1 hm. % NPK	NPK 0,1	-
Půda s přídavkem 0,5 hm. % NPK	NPK 0,5	-

3.2 Použité chemikálie

- Chlorid draselný (Sigma-Aldrich, USA)
- Salicylát sodný (Lach-ner, Česká republika)
- Dihydrát citrátu sodného (Sigma-Aldrich, USA)
- Dihydrát vínanu sodného (WVR Chemicals, USA)
- Nitropentakyanoželezitan sodný (WVR Chemicals, USA)
- Hydroxid sodný (Lach-ner, Česká republika)
- Hypochlorid sodný čistý (Penta, Česká republika)
- Standard amonných iontů (Astasol, Česká republika)
- Chlorid vanaditý (Acros Organics, USA)
- Kyselina chlorovodíková 37 % (Analytika, Česká republika)
- N-1-(naftyl)ethylendiamin dichlorid (Sigma-Aldrich, USA)
- Sulfanilamid (Sigma-Aldrich, USA)
- Dusičnanový standard pro IC (Fluka Analytical, USA)
- Vodný kalibrační roztok MIX 012 (Astasol, Česká republika)
- Roztok kalibračního standardu draslíku (Astasol, Česká republika)
- Vodný kalibrační roztok fosforu (Astasol, Česká republika)

3.3 Použité přístroje

- Analytické váhy ABJ (KERN, Německo)
- Pipety (Thermo Scientific, USA)
- Váhy (Denver Instrument, USA)
- Třepačka LT2
- Overhead třepačka 3040 (GFL, Německo)
- Magnetická míchačka Number One IKA (Cole-Parmer, Německo)
- Sušárna Durocell (BMT, Česká republika)
- Mrazák (Snijders, Nizozemsko)
- Drtící mlýn (Československo)
- Deionizátor vody (ELGA, Velká Británie)
- pH metr a konduktometr Seven Multi (Mettler Toledo, USA)
- Centrifuga Rotofix 32a (Hettich Zentrifugen, Německo)
- Spektrofotometr Mikroplate Reader (Biotek, USA)
- Optický emisní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem Ultima 2 (Horiba Scientific, Francie)
- Lampa Led Growth Light 300 W (RoHs)

3.4 Použité metody

Uvedené metody popisují přípravy a analýzy jednotlivých půdních vzorků, jejichž výsledkem jsou data, která byla dále zpracovávána.

3.4.1 Příprava půdních vzorků a směsí

Půda byla odebrána ve vesnici Hvozdec u Veverské Bítýšky v Jihomoravském kraji. Získaný materiál byl několik dní sušen v laboratoři na rozprostřeném igelitu při laboratorní teplotě do konstantní hmotnosti. Poté byla hlína drcena a pomleta na drtícím mlýnu a pomocí síta byly odstraněny částice větší než 2 mm.



Obrázek 16: Sušení půdy.

K takto připravenému půdnímu vzorku byla přidávána různě upravená kávová sedlina ve hmotnostních koncentracích, které jsou uvedeny v tabulce 6. Směs byla poté 24 hodin promíchávána v prachovnicích na overhead třepačce 3040. Celkem bylo připraveno 0,5 kg každé směsi půdy a kávové sedliny, které byly dále použity pro stanovení pH a vodivosti, růstové experimenty a obsah přístupných živin před a po pěstování.

Tabulka 6: Parametry přípravy půdních vzorků.

Vzorek	Přídavek substrátu [hm. %]	Hmotnost připravené směsi [g]	Přídavek substrátu [g]
Blank	-	500	-
2% SCG	2	500	10
5% SCG	5	500	25
SCG h	2	500	10
SCG	2	500	10
SCG wh	2	500	10
SCG df	2	500	10
SCG ox	2	500	10
SCG df-ox	2	500	10
NPK 0,1	0,1	500	0,5
NPK 0,5	0,5	500	2,5



Obrázek 17: Promíchávání směsi půdy s kávovou sedlinou na overhead třepačce.

3.4.2 Příprava extraktů vzorků půdy

Pro další analýzy bylo nezbytné každý vzorek půd před a po pěstování extrahovat. Byly připraveny extrakty pomocí 2 M KCl a syntetické dešťové vody.

Do 50 ml plastových zkumavek bylo naváženo 10 g každého vzorku půdy, které byly předem vysušeny v sušárně Durocell do konstantní hmotnosti. Vzorky byly zality 25 ml 2 M KCl, a takto připravené suspenze byly ve vodorovné poloze na 24 hodin umístěny na LT2 třepačku. Poté byl obsah zkumavek odstředěn na centrifuze Rotofix 32a při 4 000 ot/min po dobu 15 min. Supernatant byl zfiltrován přes kvantitativní filtrační papír (VWR, 454) do nových 25 ml zkumavek, které byly do jejich dalšího použití umístěny do mrazáku (-70 °C). Tyto extrakty, připravované v duplikátech, byly následovně použity pro stanovení přístupných Al, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn a Na pomocí ICP-OES a dusičnanových a amonných iontů pomocí spektrofotometrie ve viditelné oblasti.

Extrakce vzorků půd syntetickou dešťovou vodou probíhala stejným způsobem jako extrakce půdy 2 M KCl. Tyto extrakty sloužily ke stanovení přístupného K a P v půdních vzorcích pomocí ICP-OES. Složení syntetické dešťové vody je uvedeno v tabulce 7.

Tabulka 7: Koncentrace složek obsažených v syntetické dešťové vodě [56].

Složka	Koncentrace [mg/l]
NaNO ₃	1,6
CaSO ₄ ·2H ₂ O	5,2
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	1,6
(NH ₄)Cl	1,3
NaCl	3,7
NaOH	0,2

3.4.3 Stanovení vodní kapacity půdy

Znalost hodnoty vodní kapacity dané půdy je významná zejména kvůli zvolení správné zálivky pro pěstování plodin. Pro růstové experimenty bylo nutné udržovat půdu stále vlhkou, aby nedocházelo k jejímu přílišnému vysoušení, a naopak aby nebyla příliš přesycena.

Vodní kapacita půdy se stanovovala pomocí kovového válečku, který byl naplněn neobohacenou půdou a po dobu 24 hodin z poloviny ponořen do vody (obrázek 18). Poté byl váleček vyndán a na dvě hodiny umístěn na filtrační papír. V průběhu experimentu se měřila hmotnost suché půdy, mokré půdy po 24 hodinách namáčení a mokré půdy po 2 hodinách na filtračním papíře. Z rozdílu hmotností bylo možné vypočítat množství nasáklé vody a poté dle rovnice 1 vypočítat vodní kapacitu dané půdy. Celkem byla provedena 3 opakovaná stanovování.

$$\theta = \frac{m_{2h}}{m_v} \cdot 100 [\%], \quad 1$$

kde

θ ...vodní kapacita půdy,

m_{2h} ...hmotnost mokré půdy po 2 hodinách na filtračním papíře,

m_v ...hmotnost nasáklé půdy.



Obrázek 18: Stanovení vodní kapacity půdy.

Množství vody potřebné pro úplné nasycení půdy o dané hmotnosti se poté stanoví dle rovnice 2.

$$m_v = \frac{\theta \cdot m_s}{1 - \theta} [\text{g}], \quad 2$$

kde

m_s ...hmotnost suché půdy.

3.4.4 pH a vodivost půdních vzorků a směsí

Stanovení pH a vodivosti jednotlivých směsí půdy a kávové sedliny bylo provedeno pomocí Mettler pH metru a konduktometru Seven multi před a po pěstování salátů ve dvou opakování. K určení pH byla použita kombinovaná argentochloridová elektroda (Ag(s)|AgCl(s)|KCl (aq)).

V 50 ml plastových zkumavkách byl každý vzorek půdy smíchán s destilovanou vodou v poměru 1:5, konkrétně 8 g půdy a 40 ml vody, a na 1 hodinu umístěn na LT2 třepačku ve vodorovné poloze. Měření probíhalo při laboratorní teplotě a za stálého míchání roztoku pomocí magnetického míchadla, které předcházelo sedimentaci půdy.

3.4.5 Prvková analýza půd a směsí

Prvková analýza jednotlivých vzorků půd před a po pěstování byla provedena metodou ICP-OES přístrojem Horiba Ultima 2. Ke stanovení byly použity extrakty 2 M KCl, ve kterých byla stanovena koncentrace hliníku, vápníku, chromu, mědi, železa, hořčíku, manganu a sodíku, extrakty syntetickou dešťovou vodou pro stanovení draslíku a fosforu. Před měřením byly extrakty jednotlivých vzorků půd 10krát naředěny deionizovanou vodou.

Jako nosný plyn byl použit argon, přístroj byl pro měření nastaven dle tabulky 8.

Tabulka 8: Parametry měření pro prvkovou analýzu.

Přístroj	ICP-OES Ultima 2
Průtok argonu	Plazmový plyn 14,0 l/min Stínící plyn 0,5 l/min Pomocný plyn 0,2 l/min
Zmlžovač	Typ Meinhard
Mlžná komora	Cyklonová
Rychlost otáček peristaltického čerpadla	18 rpm
Tlak na zmlžovači	3 bar
Výkon generátoru	1 300 W

3.4.6 Stanovení dusičnanových aniontů ve vzorcích půd a směsí

Koncentrace dusičnanových aniontů byly stanoveny z extraktu vzorků půdy před i po pěstování 2 M roztokem KCl pomocí spektrofotometrie. Přítomnost dusičnanových iontů v extraktu se po přidání reakčních roztoků projeví růžovým zbarvením (obrázek 19), jehož intenzita definuje jejich koncentraci.

Reakční roztoky byly připraveny do 250 ml skleněných lahví obalených alumíniovou fólií, aby bylo zabráněno přístupu světla. První reakční roztok byl vytvořen smícháním 0,4 g chloridu vanaditého a 125 ml 1 M kyseliny chlorovodíkové, obsah lahve byl protřepán a umístěn na 10 minut do ledničky. Druhý reakční roztok vznikl smícháním 0,2 g sulfanilamidu a 0,01 g 1-naphthyl-ethylendiamin dihydrochloridu (NED), které byly rozpuštěny ve 400 ml deionizované vody. Reakční roztoky se následovně smíchaly v poměru 1:8.

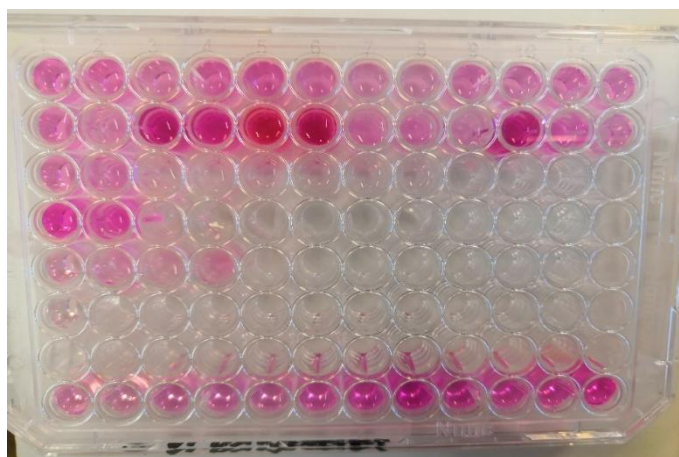
Na mikrotitrační destičku bylo pipetováno 13 µl extraktu a 287 µl reakčního roztoku. Pokud měly některé vzorky příliš vysokou koncentraci dusičnanů, bylo třeba zvolit při jejich

pipetování na mikrotitrační destičku vyšší ředění, konkrétně 6 μl extraktu a 294 μl reakčního roztoku. Ředěním standardního roztoku dusičnanů 2 M KCl byla připravena kalibrační řada dle tabulky 9, která sloužila ke konečnému určení koncentrace dusičnanů v extraktech.

Tabulka 9: Objem standardu a 2 M KCl pro přípravu kalibrační řady ke stanovení dusičnanů v půdních extraktech.

Koncentrace NO_3^- [mg/l]	Objem 100 ppm standardu [μl]	Objem 2 M KCl [μl]
0	0	1000
4	40	960
6	60	940
8	80	920
10	100	900
12	120	880
14	140	860
16	160	840
20	200	800
24	240	760
48	480	520

Reakce probíhala v digestoři po dobu 16 hodin, poté byla mikrotitrační destička proměřena na spektrofotometru Multiplate Reader při vlnové délce 562 nm.



Obrázek 19: Příklad zbarvení roztoků na mikrotitrační destičce při stanovování dusičnanů.

3.4.7 Stanovení amonných kationtů ve vzorcích půd a směsí

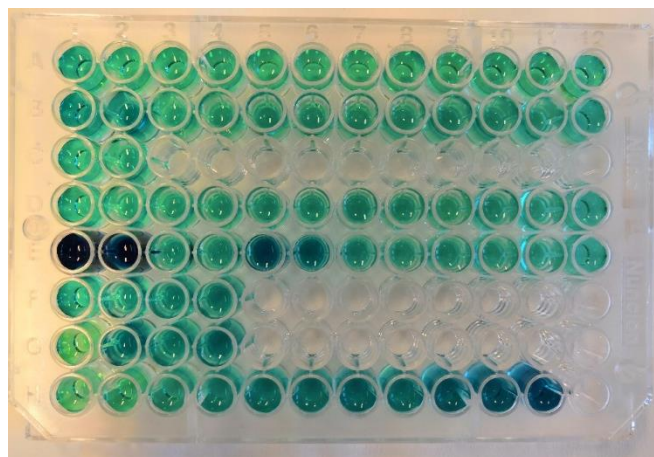
Koncentrace amonných iontů se stanovovala také v extraktu půdy 2 M KCl. Po jejich reakci s reakčním činidlem se jejich přítomnost projeví azurovým zbarvením vzorků (obrázek 20). K jejich důkazu byla opět do 250 ml skleněných lahví obalených aluminiovou fólií namíchána dvě reakční činidla. Do první lahve (reakční činidlo A) bylo naváženo 6,5 g salicylátu sodného, 5 g citrátu sodného, 5 g dihydrátu vínanu sodného a 0,025 nitroprussidu sodného, všechny složky byly rozpuštěny ve 100 ml deionizované vody a lahev byla umístěna do lednice. Druhé reakční činidlo (B) obsahovalo 6 g hydroxidu draselného a 2,4 ml 11 % hypochloridu sodného a 100 ml deionizované vody, po jeho přípravě byla lahev také dána do lednice.

Ke stanovení koncentrace amonných iontů v extraktech vzorků půd byla dle tabulky 10 připravena také kalibrační řada. Byl použit 50 ppm standartní roztok amonných iontů, který byl ředěn 2 M KCl.

Tabulka 10: Objem standardu a 2M KCl pro přípravu kalibrační řady pro stanovení koncentrace amonných iontů v půdních extraktech.

Koncentrace NH_4^+ [mg/l]	Objem 50 ppm standardu [μl]	Objem 2 M KCl
0	0	1000
1	20	980
2	40	960
4	80	920
5	100	900
6	120	880
8	160	840
10	200	800
12	240	760
15	300	700
20	400	600

Na mikrotitrační destičku pipetováno 22 μl extraktu, 140 μl reakčního činidla A a 140 μl reakčního činidla B, u vzorků, kde byl očekávaný větší obsah amonných iontů byla zvoleno vyšší ředění, 11 μl extraktu a po 140 μl obou reakčních činidel. Po 2,5 hodinové reakční době byla na spektrofotometru při vlnové délce 630 nm proměřena intenzita zbarvení.



Obrázek 20: Příklad zbarvení roztoků na mikrotitrační destičce při stanovování amonných iontů.

3.4.8 Rostlinné růstové experimenty

V rámci zhodnocení vlivu jednotlivých substrátů na růst rostliny by provedeny růstové experimenty. Pro pěstování byl zvolen salát hlávkový raný (*Lactuca sativa* L.) od výrobce HOBBY garden, dodavatelem je Nohel Garden a. s., sídlící v Dobříši. Tato odrůda tvoří kulovité, žlutozelené hlávky o konečné hmotnosti 180-200 g, již se dosáhne zhruba po 2 měsících. Je vhodná jak pro časné pěstování na polích, tak i ve sklenících, kde je její růst vlivem vyšší teploty urychlen. Salát se doporučuje konzumovat v čerstvém stavu.

Saláty byly pěstovány v plastových květináčích se zalepeným dnem o rozměrech 5x5x7,5 cm, které se naplnily 200 g vzorků půd. Po naplnění bylo do květináče nalito množství vody odpovídající vodní kapacitě půdy a po vsáknutí bylo cca 2 mm pod povrch zasazeno 10 semínek salátu.

Všechny květináče byly umístěny do černého boxu (obrázek 21) vybaveného lampou Led Grow Light, která svítila 12 hodin denně. Saláty byly zalévány jednou za 2 dny vždy do hmotnosti, která odpovídala plně nasycené půdě vodou. Charakteristika závlivkové vody je uvedena v tabulce 11. Takto byly saláty pěstovány po dobu 3 týdnů, poté byly jednotlivé rostliny z půdy opatrně vyjmuty, byla změřena délka jejich kořene, stonku a velikost jednotlivých lístků. Byla také stanovena hmotnost každé rostliny v době sklizení a po jejím usušení.

Tabulka 11: Charakteristika vody používané pro zalévání rostlin salátů.

Prvek	Koncentrace [mg/l]
Ca	78,7
K	2,52
Mg	3,83
Na	4,39
Al	0,030
Fe	0,018
P	0,128
Se	0,127
Sn	0,070
V	0,151
Zn	0,133



Obrázek 21: Box určený pro pěstování rostlin.

3.4.9 Analýza rozptylu

K vyhodnocení naměřených dat byla provedena analýza rozptylu pomocí programu XLSTAT od výrobce ADDINSOFT (USA), verze 2014.5.3, včetně mnohonásobného porovnání hodnot prostřednictvím Tukeyho testu. Hladina významnosti měla hodnotu 0,05.

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

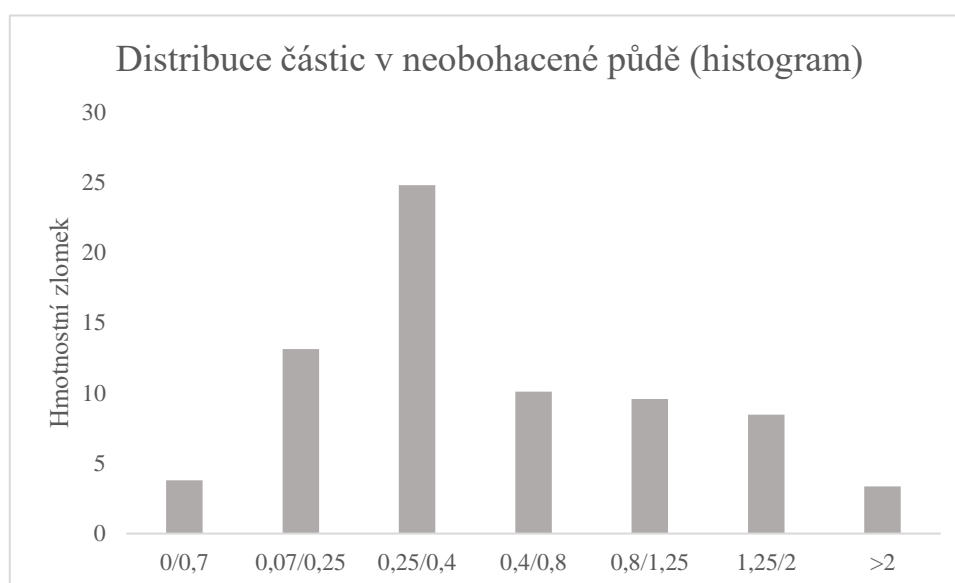
Tato kapitola je zaměřena nejprve na charakteristiky odebrané neobohacené půdy a poté vlastnostem vzorků půd s přídavkem upravené a neupravené kávové sedliny, které budou porovnávány s referenčními půdami s příměsí komerčního hnojiva NPK. Byly pozorovány změny fyzikálních vlastností a změny v obsahu přístupných živin v půdních extraktech, které nastaly po 3 týdnech pěstování rostlin salátů na těchto vzorcích půd.

4.1 Fyzikální a chemická charakteristika neobohaceného půdního vzorku

Jako reference ke změnám vlastností půd s obsahem kávové sedliny sloužila půda neobohacená. Tato světle hnědá půda měla jílovitý charakter, při vysušení byla velmi tvrdá, po namočení mazlavá, špatně vsakovala vodu kvůli své nízké pórovitosti. Po kvartaci materiálu byl odebrán reprezentativní vzorek této půdy a pomocí sítové analýzy byla stanovena distribuce jejích částic (Obrázek 22). Hmotnost jednotlivých frakcí je zobrazena v tabulce 12.

Tabulka 12: Hmotnost jednotlivých frakcí půdy rozdělených dle velikosti síta.

Velikost síta [mm]	Hmotnost [g]
2	302,7
1,25	120,3
0,8	106,1
0,4	100,8
0,25	41,0
0,07	77,6
<0,07	268,3



Obrázek 22: Graf zobrazující distribuci velikosti částic v neobohacené půdě.

Základním ukazatelem kvality půdy je hodnota pH. U analyzované neobohacené půdy bylo $\text{pH} = 8,653 \pm 0,064$, což řadí tento půdní vzorek do skupiny silně zásaditých půd, které se většinou vytvářejí na vápencovitých podložích, dá se tedy předpokládat přítomnost vápence v půdě [57].

Stanovené obsahy základních půdních živin v experimentálním vzorku byly oproti průměrným koncentracím v běžných půdách nižší, což mohlo být způsobeno odběrem tohoto vzorku z nižších vrstev. Nejvíce zastoupeným prvkem ve zkoumaném půdním vzorku byl vápník s koncentrací $2112 \pm 370 \text{ mg/kg}$ půdy. Při velkoobjemovém pěstování je tuna plně vzrostlých salátů schopna z půdy odčerpat až $0,79 \text{ kg CaO}$. Pokud předpokládáme, že jedna hlávka salátu má 200 g , pak z půdy odebere okolo 158 mg CaO [58],[59].

Přístupný hořčík se v dané půdě nacházel v koncentraci $204 \pm 40 \text{ mg/kg}$, což lze označit za vyhovující obsah hořčíku v těžkých trvale zatravněných půdách. Plně vzrostlá hlávka salátu o hmotnosti 200 g je schopná z půdy odčerpat 48 mg MgO , v němž obsažený hořčík je významný pro její vývoj [58].

V neobohacené půdě byl stanoven draslík pod limitem detekce, což mohlo být způsobeno odběrem této půdy z nižších vrstev. Vyšší obsah draslíku v půdě zlepšuje růst a výnos rostlin a jeho odolnost proti chorobám, tuna plně vzrostlého salátu z půdy odčerpá až $3,98 \text{ kg K}_2\text{O}$, uzrálá hlávka salátu může tedy půdu ochudit až o $800 \text{ mg K}_2\text{O}$ [58].

Testovaná půda byla charakteristická téměř úplnou absencí extrahovatelného fosforu, což mělo při růstových experimentech významný negativní vliv (viz kapitola 2.3.3). Optimálně za svůj růst salát z půdy odčerpá $80 \text{ mg P}_2\text{O}_5$. Obsah dostupného fosforu ovlivňuje hlavně růst kořenové soustavy a je tedy nejdůležitější v prvních fázích růstu [58].

Minerální dusík zahrnuje dusičnanové a amonné ionty, ovlivňuje rychlost růstu a výnos rostlin, jejich odolnost vůči chorobám, a tedy je jeho množství v půdách vlivem hnojení často velmi vysoké. Množství dusíku potřebného pro vypěstování jedné hlávky salátu (200 g) je kolem 440 mg [58],[59]. Minerální dusík obsažený v neobohacené půdě odpovídal průměrné koncentraci dusíku v těžké trvale zatravněné půdě.

Po porovnání obsahu živin v neobohacené půdě s množstvím živin potřebných k vypěstování jedné hlávky salátu, lze obecně říct, že půda není vhodná pro jejich pěstování, a to zejména z důvodu absence fosforu a nedostatku draslíku a minerálního dusíku. Porovnání obsahů přístupných živin v neobohacené půdě použité pro experimenty s průměrným množstvím živin v běžných těžkých trvale zatravněných půdách je zobrazeno v tabulce 13.

Tabulka 13: Porovnání průměrných hodnot koncentrací přístupných makronutrientů v těžké trvale zatravněné půdě a v odebrané neobohacené půdě [57].

Živiny	Průměrný obsah přístupných živin v těžké trvale zatravněné půdě [mg/kg]	Průměrný obsah přístupných živin v odebrané neobohacené půdě [mg/kg]
Vápník	1600-3900	2112
Hořčík	120-310	204
Draslík	110-470	2,5
Fosfor	25-150	0
Minerální dusík	5-100	48

Optimální pH pro pěstování salátu se pohybuje v rozmezí 6,2-7,5 [57]. I přes silnou zásaditost neobohacené půdy na ní rostliny salátu vyrostly. Jelikož byla půda chudá na obsah fosforu, měly tyto saláty nezdravou růžovo-šedou barvu (obrázek 23). Z celkem 20 semínek zasazených do dvou květináčů vyrostlo 6 a 3 rostliny salátu. Pro potřeby zalévání byla ve třech opakování stanovena také vodní kapacita této půdy. Dle rovnic 1 a 2 byla její průměrná hodnota rovna 27,4 obj. %, a tedy květináče s 200 g půdy se zasazenými saláty byly zalévány vodou do konečné hmotnosti 275 g.



Obrázek 23: Rostliny salátů vypěstované na neobohacené půdě.

4.2 Fyzikální vlastnosti směsí půdy a substrátů na bázi kávové sedliny

Mezi sledované fyzikální vlastnosti směsí půdy s upravenou a neupravenou kávovou sedlinou patří pH a vodivost, které byly stanoveny na základě postupů uvedených v kapitole 3.4.4.

4.2.1 Vliv aplikace substrátů na pH

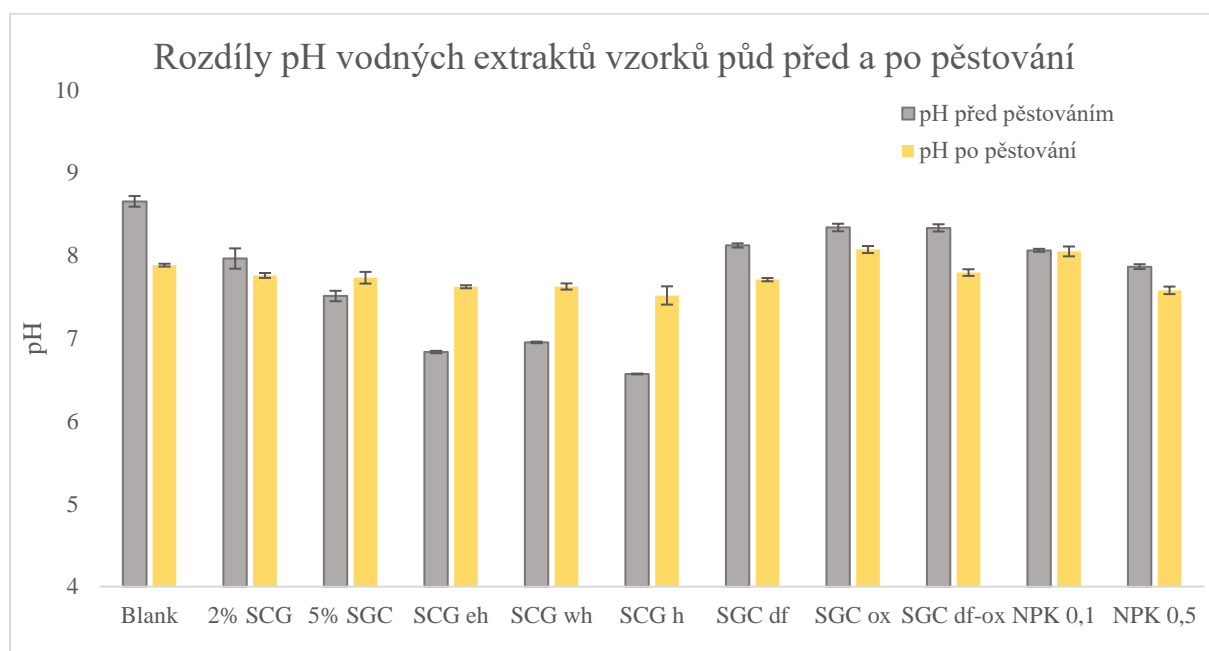
Jak bylo uvedeno v kapitole 4.1, neobohacená půda (*blank*) měla pH silně zásadité ($8,654 \pm 0,064$). Samotná kávová sedlina extrahovaná vodou vykazuje pH okolo 5,5. Po přidání jak neupravené, tak různými postupy upravené kávové sedliny do půdy se pH všech vzorků půdy snížilo (obrázek 24). Míra tohoto poklesu korespondovala s kyselostí chemikálií, které byly použité k úpravě sedliny, naměřené hodnoty jednotlivých půdních vzorků měly mezi sebou významný statistický rozdíl. K poklesu pH došlo i při aplikaci komerčního hnojiva NPK, což mohlo být způsobeno obsahem dusičnanů.

K nejmenší změně pH oproti neobohacené půdě došlo u směsí půdy s kávovou sedlinou *SCG ox*, *SCG df-ox* a *SCG df*, u kterých byla sedlina oxidována anorganickým oxidačním činidlem a odtučňována n-hexanem. Největší pokles pH oproti neobohacené půdě byl dle očekávání zaznamenán u směsí půdy a biorafinované kávové sedliny, která byla upravována kyselou hydrolýzou (postup dle kapitoly 3.4.1), tedy u vzorků *SCG h*, *SCG wh*, a *SCG eh*. Přítomnost kyseliny v půdě vede k její reakcím s hydroxylovými skupinami jílových minerálů (kaolinit, illit...) a organické hmoty. Hlinitokřemičitany obsažené v zásaditých půdách mají vysokou iontově výměnou kapacitu, a to převážně na bázi katexů a jsou schopny relativně silně vázat kladně nabitě ionty (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} ...) a neuvolňovat je do půdního roztoku. Při acidifikaci dochází k protonaci těchto funkčních skupin, což má za následek zvýšení koncentrace přístupných iontů [60].

Po uplynutí 3 týdnů, kdy byla směs půdy a kávové sedliny využívána k pěstování salátů, bylo opět změřeno pH jejich vodných extraktů. Hodnoty mezi jednotlivými vzorky byly méně rozdílné než před pěstováním, pohybovaly se v rozmezí od 7,5 do 8,1. U vzorků, které před pěstováním vykazovaly vysoké pH (*blank*, *SCG df*, *SCG ox*, *SCG df-ox*) došlo k jeho snížení, naopak u vzorků kyselejších (*SCG h*, *SCG wh*, *SCG h*, *5% SCG*) se pH zvýšilo.

Jednou ze základních charakteristik půd je jejich pufrací kapacita. Vliv na pufrací kapacitu má zejména obsah organického uhlíku, jílu a typ obsažených jílových materiálů, konkrétně pak zastoupení pufracích sloučenin uhličitany a fosfáty [61]. Při přidavku H^+ iontů do půdního roztoku zde dojde k dočasnému zvýšení jejich koncentrace, ale postupně jsou ionty navazovány na půdní micely, k čemuž mohlo dojít také u pozorovaných půdních vzorků. Na zvýšení pH má vliv také rozpouštění jílových minerálů zásaditých půd. Ke zvýšení pH půd se také běžně používají vápenné materiály, které jsou schopny navazovat H^+ ionty [62].

Optimální pH půdy pro pěstování rostlin salátu, jak bylo uvedeno v kapitole 4.1, je mezi 6,2 a 7,5. Původní pH půdních vzorků *SCG df*, *SCG ox* a *SCG df-ox* mělo hodnoty okolo 8. Během pěstování došlo ke snížení tohoto pH, což mohlo být způsobeno produkcí organických kyselin kořenovým systémem rostlin, díky čemu se pH půdy přiblížilo optimu pro jejich pěstování. K tomuto jevu došlo také u neobohaceného půdního vzorku, tudíž za tento pokles pH nemůže být zodpovědná přítomnost kávové sedliny.



Obrázek 24: Porovnání pH vodných extraktů před a po pěstování.

4.2.2 Vliv aplikace substrátů na vodivost

Stejně jako v případě pH měl přídavek jak upravené, tak neupravené kávové sedliny vliv také na vodivost daného půdního vzorku. Hodnotou vodivosti se posuzuje zasolenost půd, stanovuje se z jejich vodného roztoku. Nezasolené půdy mají hodnotu vodivosti do 0,7 mS/cm, středně zasolené 0,7-1,4 mS/cm, zasolené 1,4-2,8 mS/cm a silně zasolené nad 2,8 mS/cm [35]. Zasolenost představuje koncentraci rozpuštěných minerálních solí obsažených ve vodném roztoku půd, přičemž hlavními rozpuštěnými minerálními látkami jsou kationty Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} a K^+ a anionty Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^- [63].

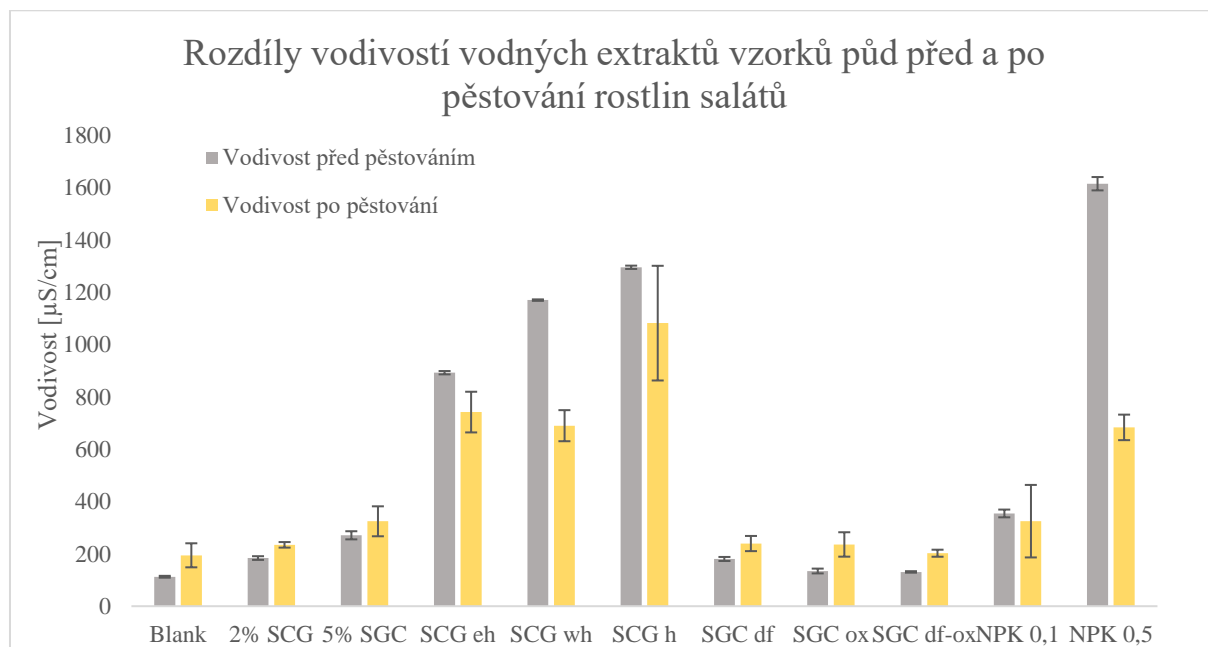
Modelová půda měla průměrnou hodnotu vodivosti 113 ± 4 mS/cm, spadá tedy do kategorie nezasolených půd. Ve všech případech po přidání kávové sedliny do půdy vodivost výsledné směsi vzrostla. Největší nárůst vykazovaly směsi s kávovou sedlinou, která byla upravována

kyselou hydrolýzou (*SCG h*, *SCG eh*, *SCG wh*), nižší nárůsty byly zaznamenány u vzorků obsahujících sedlinu odtučněnou a zoxidovanou (*SCG df*, *SCG ox*, *SCG df-ox*).

Zvýšení vodivosti v půdních vzorcích je spojeno s poklesem jejich pH, což se projevilo silnou negativní korelací s hodnotou korelačního koeficientu -0,717 před pěstováním a -0,694 po pěstování. To je způsobeno reakcemi odehrávajícími se v půdě. Dříve bylo řečeno, že kyselina v půdě reaguje s obsaženými hydroxylovými skupinami [60], čímž dochází k poklesu pH, ale zároveň také k uvolnění přístupných kationtů, které jsou zodpovědné právě za nárůst vodivosti jednotlivých půdních vzorků. Proto byla nejvyšší vodivost zaznamenána u půdního vzorku, který vykazoval nejnižší pH.

Po třech týdnech pěstování salátů ve směsích půdy s kávovou sedlinou se vodivost jednotlivých směsí půdy s kávovou sedlinou změnila (obrázek 25). U vzorků se sedlinou, která byla upravena kyselou hydrolýzou, které před pěstováním vykazovaly nejvyšší vodivost, došlo k jejímu poklesu, u vzorků s původně nižší vodivostí (sedlina, odtučněná, oxidovaná, modelová půda), došlo ke jejímu zvýšení. Oproti vodivostem jednotlivých vzorků před pěstováním jsou zde také patrnější rozdíly mezi paralelními měřeními, které mohly být způsobeny rozdílným množstvím rostlin salátů, které vyrostly v paralelních květináčích.

Rostliny pro svůj růst získávají živiny obsažené v půdě, jejich koncentrace zde se při pěstování snižuje, což se ovšem může vyrovnávat zaléváním, díky kterému dochází k rozpadu půdních částic a uvolňování iontů přístupných pro růst plodin. Podle Liua a Pricea [64] dochází po kompostování kávové sedliny s dalším organickým materiálem ke zvýšení vodivosti výsledného materiálu, zejména v případě kompostu, který je dobře provzdušňovaný. Lze tedy usuzovat, že po přidání kávové sedliny do půdy, kde byla v době pěstování po dobu 3 týdnů udržována téměř konstantní vlhkost, mohlo docházet k rozkladným procesům kávové sedliny, které vedly k obohacení půdy o další ionty a tím zvýšení její vodivosti. Zároveň byla půdy obohacována ionty, které byly obsaženy ve vodě používané pro zalévání.



Obrázek 25: Porovnání vodivosti vodných extraktů půd před a po pěstování.

Vysoká zasolenost půdy má prokazatelně špatný vliv na klíčivost, růst plodin a výtěžek [63],[65]. To potvrzuje také korelační koeficient mezi vodivostí a počtem vzrostlých salátů, který má hodnotu -0,595. Z toho vyplývá, že se vzrůstající vodivostí klesá množství vypěstovaných rostlin. Ovšem při nízké hodnotě vodivosti vodného roztoku půdy můžeme

předpokládat, že je daná půda málo výživná a obsahuje nedostatek minerálních látek potřebných pro správný vývoj pěstovaných plodin.

V přílohách (10) jsou uvedeny konkrétní hodnoty pH a vodivosti v jednotlivých vzorcích půd před a po pěstování.

4.3 Prvková analýza směsí půdy a substrátů na bázi kávové sedliny

Živiny se v půdě vyskytují ve formě iontů, které jsou disociované v půdním roztoku, vázané v pevných minerálních nebo organických materiálech, nebo výměně vázané na povrchu těchto materiálů. Působením srážek případně zaléváním dochází k vyplavování vázaných živin a tím se zvyšuje jejich koncentrace v půdním roztoku. Pro výživu rostlin mají největší význam právě živiny takto disociované [57].

Půda představuje komplexní dynamický systém, ve kterém vlivem ať uměle nebo přirozeně vyvolaných změn dochází k mnoha reakcím. Přidávky různě upravené kávové sedliny díky svým vlastnostem ovlivnily jak fyzikální vlastnosti půdy, tak koncentrace přístupných živin. Prvková analýza byla provedena před a po pěstování rostlin salátů v jednotlivých směsích půdy a kávové sedliny, u modelové půdy a půd obohacených komerčním hnojivem NPK vždy ve dvou opakování. Mezi stanovované prvky patří hliník vápník, chrom, měď, železo, hořčík, mangan, sodík, fosfor a draslík, které byly stanoveny pomocí ICP-OES. Dále se stanovil obsah dusičnanových a amonných iontů metodou optické spektrofotometrie.

U jednotlivých půdních vzorků byl pozorován vliv způsobu úpravy na koncentrace přístupných živin před a po pěstování. Tyto hodnoty byly porovnávány s koncentracemi přístupných živin v neobohacené půdě a půdách s přidavkem NPK. Dále byly sledovány změny mezi skupinami podobně upravovaných půdních vzorků. V tabulce 14 je zobrazen nárůst (↑) nebo pokles (↓) koncentrace sledovaných živin ve vzorcích půdy po pěstování rostlin salátů.

Tabulka 14: Nárůst nebo pokles sledovaných živin po pěstování rostlin v jednotlivých vzorcích půd.

	Al	Ca	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Na	P	K	HNO ₃	NH ₄
Blank	↓	↓	-	-	↓	↓	↓	-	↓	↑	↓	↓
2% SCG	↓	↓	-	-	↓	↓	↓	-	↓	↑	↓	↓
5% SCG	↓	↓	-	-	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓
SCG eh	↓	↓	-	-	↓	↓	↓	-	↓	↑	↓	↓
SCG wh	↓	↓	-	-	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑
SCG h	↓	↓	-	-	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓
4Q/hy	↓	↓	-	-	↓	↓	↓	-	↓	↑	↓	↓
SCG df	↓	↓	-	-	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑
SCG ox	↓	↑	-	-	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑
SCG df-ox	↓	↑	-	-	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑
NPK 0,1	↓	↑	-	-	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↓
NPK 0,5	↓	↑	-	-	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↓

Koncentrace chromu a mědi byly v půdních vzorcích stanoveny v zanedbatelných množstvích před i po pěstování, nebyl mezi nimi statisticky významný rozdíl. Lze tedy

předpokládat, že přídavek kávové sedliny do půdy neovlivnil jejich obsah. Malá množství chromu byla stanovena pouze ve vzorcích s obsahem NPK.

Velké odchylky od průměrných hodnot zejména po pěstování jsou způsobeny stanovováním koncentrací minerálních látek v paralelních vzorcích půd, na kterých často docházelo k růstu rozdílného počtu rostlin salátů.

V přílohách (10) jsou uvedeny konkrétní koncentrace jednotlivých přístupných živin ve vzorcích půd před i po pěstování.

4.3.1 Vápník

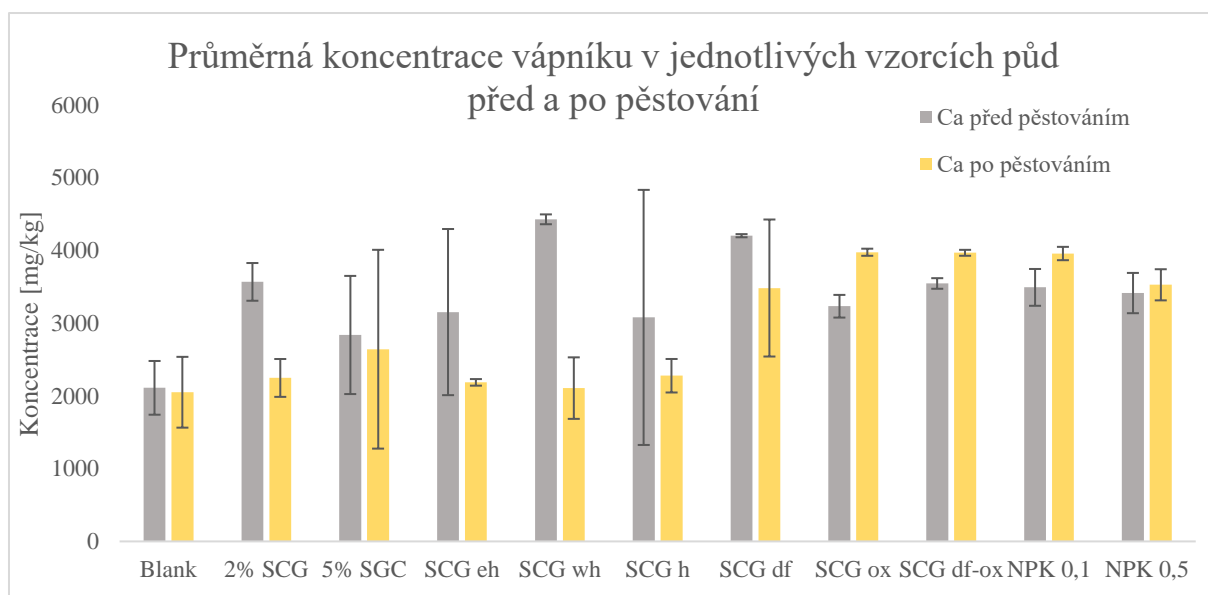
Vápník je pro rostliny esenciální nutrient, který plní několik významných rolí. Rostliny jej získávají z půdního roztoku. Požadavky na obsah vápníku v půdě se mezi rostlinnými druhy liší, jeho koncentrace v půdě se většinou pohybuje mezi 0,1-5 %. Nedostatek vápníku v půdě se objevuje jen zřídka, a to hlavně v hodně kyselých půdách [66].

Vápník je nejvíce zastoupeným prvkem ve všech půdních vzorcích, jeho koncentrace se pohybují mezi 2112 ± 369 a 4330 ± 68 mg/kg půdy. Nejnižší obsah vápníku byl stanoven v modelové půdě (2112 mg/kg), přídavkem kávové sedliny došlo tedy k obohacení všech vzorků půd o vápník.

Kilogram vysušené kávové sedliny obsahuje 0,777 g vápníku [67], k jeho nárůstu v půdních vzorcích tedy mohlo dojít následkem jejího přídavku. Vápník je ovšem také součástí jílových minerálů, na jejichž rozhraní dochází ke kation výměnné sorpci. Uvolňování vápenatých kationtů z jílových minerálů je podporováno přítomností kyselin, které, jak bylo řečeno v kapitole 4.2.1, reagují s hydroxylovými skupinami [60]. I to může vysvětlovat nárůst jeho koncentrace v půdních vzorcích obsahujících kyselé hydrolyzovanou kávovou sedlinu.

Během pěstování došlo u většiny vzorků půdy ke snížení množství obsaženého vápníku, jen u vzorků obohacených komerčním hnojivem NPK (*NPK 0,1%*, *NPK 0,5%*) a u vzorků s kávovou sedlinou upravenou oxidací anorganickým oxidačním činidlem (*SCG ox*, *SCG df-ox*) nastalo zvýšení koncentrace vápníku (Obrázek 26). Komerční hnojiva jsou často upravována tak, aby se jejich komponenty do půdy uvolňovaly postupně, u organických hnojiv je tento jev přirozený a je způsoben postupným rozkladem organického materiálu (2.3). U půdních vzorků obsahujících oxidovanou kávovou sedlinu došlo vlivem její úpravy k rozrušení organické hmoty a degradaci fenolických látek, které stejně jako hlinitokřemičitany jílových minerálů standardně fungují jako kation výměnné funkční skupiny. Při absenci těchto katexů může poté docházet k dalšímu nárůstu koncentrace vápníku, který za takových podmínek není nikde vázán.

Kyselé hydrolyzovaná kávová sedlina, zejména v půdním vzorku *SCG wh*, se po přídavku do půdy ukázala jako dobrý zdroj vápníku. To bylo způsobeno hlavně díky reakcím kyselin s hlinitokřemičitany půdy, a tím uvolňování vápníku do půdního roztoku.

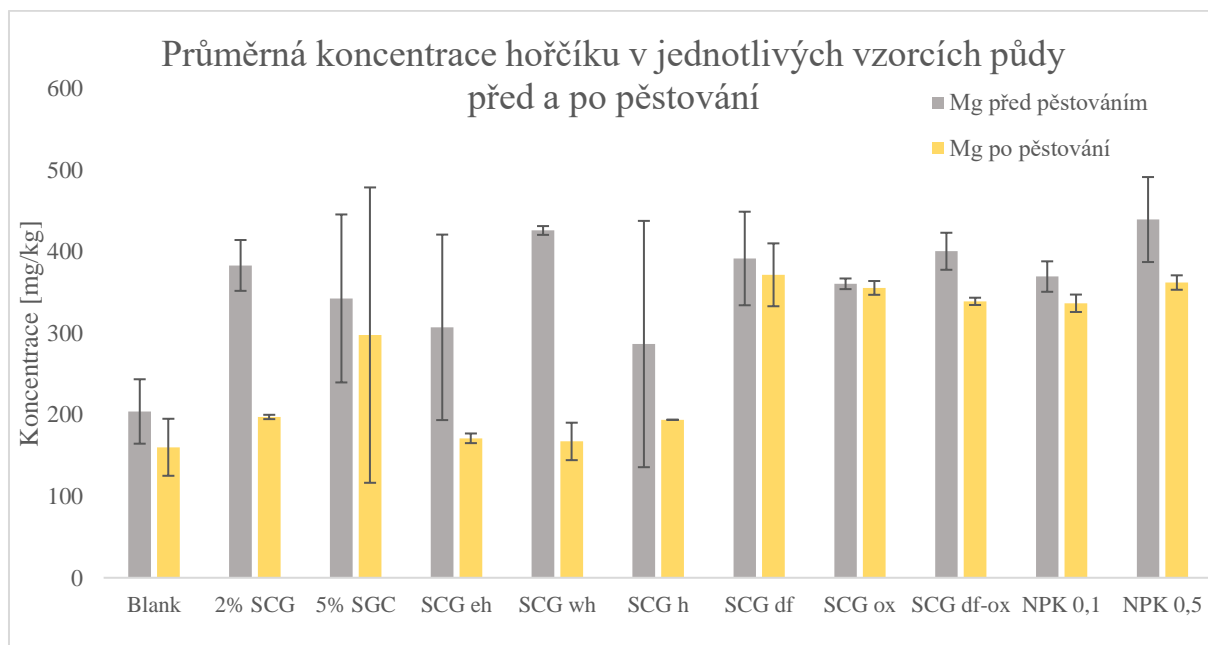


Obrázek 26: Porovnání koncentrací vápníku před a po pěstování.

4.3.2 Hořčík

Význam hořčíku spočívá hlavně v procesech fotosyntézy, dýchání a akumulace zásobních živin. Nároky na jeho obsah korespondují s nároky na výtěžnost plodin, zejména u obilí má hořčík velký vliv na výnos zrn. To má ale často za následek snižování jeho koncentrace v půdách [68].

Jeden kilogram kávové sedliny může obsahovat až 1,3 g hořčíku, je zde tedy po draslíku a fosforu nejvíce zastoupeným prvkem [67]. Přídavek kávové sedliny se také projevil ve zvýšení koncentraci hořčíku v půdním extraktu (obrázek 27). Oproti neobohacené půdě nastal nárůst hořčíku o 100 až 225 mg/kg půdy. To mohlo být opět způsobeno reakcemi mezi kyselinami a hydroxylovými skupinami jak jílových minerálů, tak organického materiálu. Během pěstování koncentrace hořčíku u všech půdních vzorků klesla, což mohlo být způsobeno jeho opětovným začleňováním do půdní struktury, případně nároky rostlin na tento prvek.

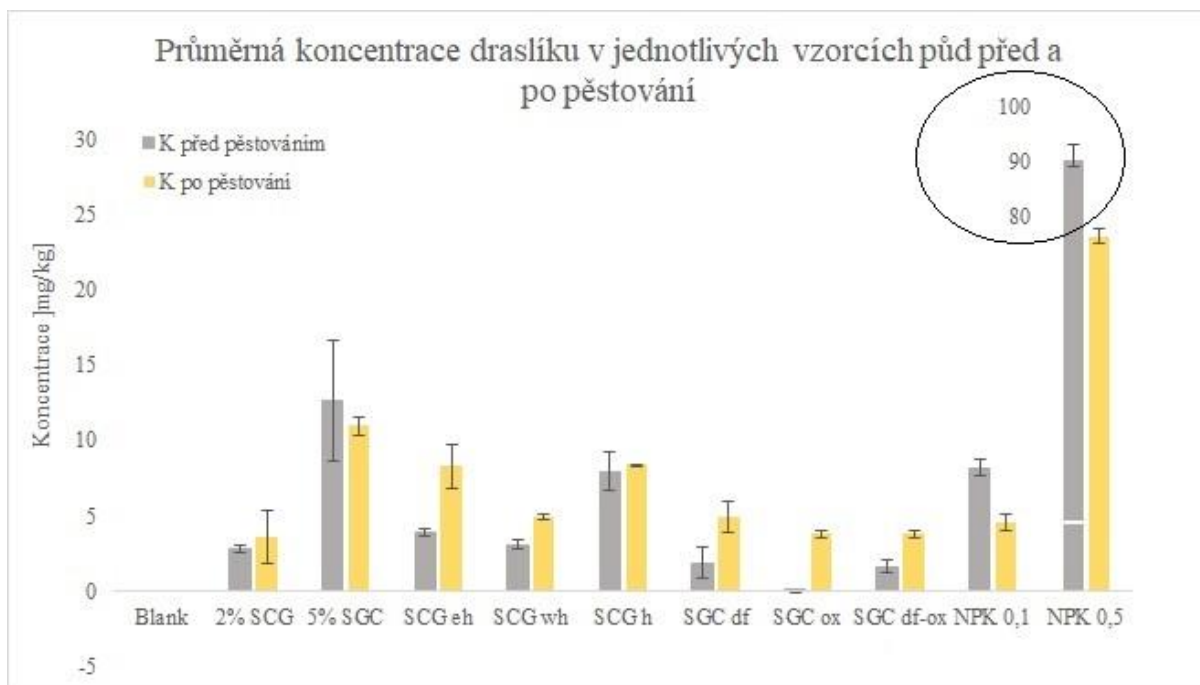


Obrázek 27: Porovnání průměrných koncentrací hořčíku před a po pěstování.

4.3.3 Draslík

Draslík je esenciální prvek, který je součástí mnoha významných fyziologických procesů, zlepšuje kvalitu plodin a pomáhá rostlinám přežít nepříznivé podmínky. Jeho nedostatek v půdě je celosvětovým problémem a draslíkové hnojivo je jedno z nejvíce aplikovaných. Jako organické hnojivo lze použít slámu, která po svém zetlení je schopna doplnit pro rostliny potřebnou koncentraci draslíku [69].

Kávovalá sedlina je na obsah draslíku opravdu bohatá, v jednom jejím kilogramu se ho nachází až 3,5 g. Při porovnání koncentrací draslíku mezi neobohacenou půdou a půdami s přísávkou kávovalé sedliny bylo patrné, že obsah draslíku díky kávovalé sedlině mírně vzrostl (obrázek 28). Zajímavé bylo, že při měření množství obsahu draslíku po 3 týdnech pěstování rostlin salátu došlo u všech vzorků s kávovalou sedlinou (kromě 5% SCG) k dalšímu nárůstu draslíku. Oproti tomu v půdách obohacených komerčním hnojivem NPK došlo k výrazné ztrátě draslíku. Lze předpokládat, že by v půdě mohlo docházet k postupnému rozkladu organické kávovalé sedliny, a tedy i k postupnému nárůstu koncentrace draslíku. I přes tento kontinuální nárůst nebyly půdní vzorky o draslík obohaceny dostatečně, což se projevoválo na zpomaleném růstu rostlin.



Obrázek 28: Porovnání průměrné koncentrace draslíku před a po pěstování.

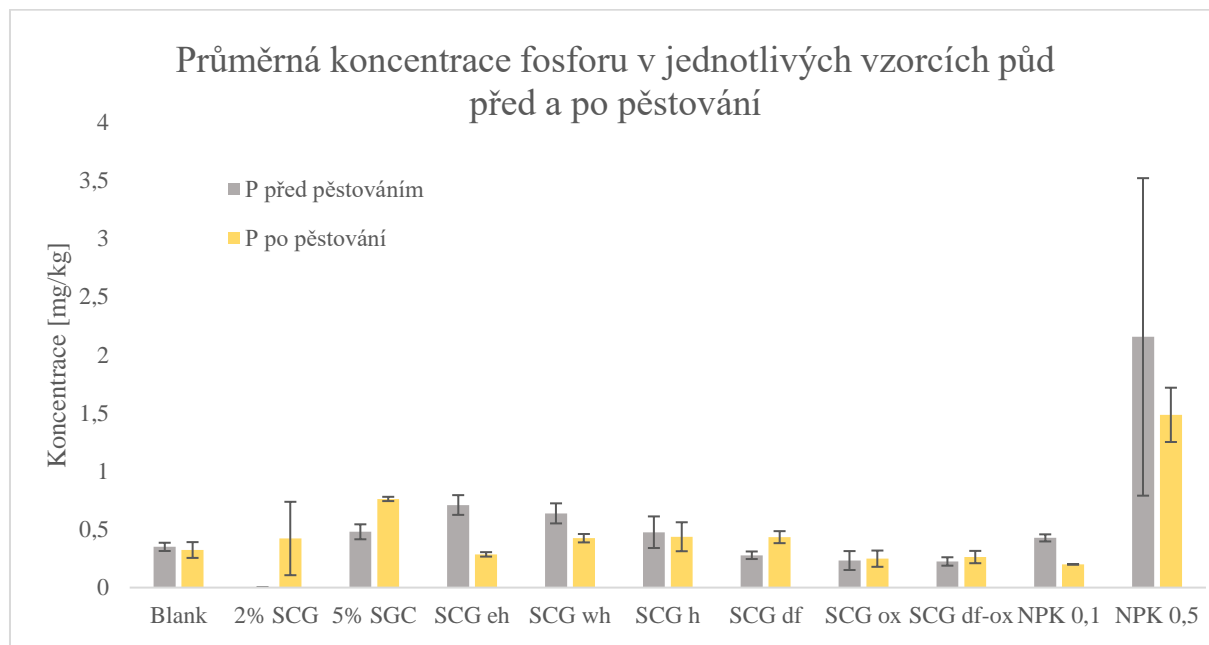
4.3.4 Fosfor

Fosfor je jedním z nejvíce nepostradatelných prvků na Zemi, a proto se v poslední době vyvíjejí různé metody, jak jej dodávat do vyčerpaných půd. Obsah fosforu závisí na půdním horizontu, substrátu, způsobu využívání a jeho intenzitě. Rozpustnost a dostupnost fosforu v půdě závisí na obsahu minerálů a pH půdy. V zásaditých půdách dochází ke snižování jeho obsahu kvůli tvorbě méně rozpustných fosfátů vápenatých. V kyselých půdách bohatých na hliník nebo železo se fosfor často navazuje na jejich oxidy, tato vazba se postupem času upevňuje a fosfor se stává nepřístupným [70].

Množství fosforu v neobohacené půdě bylo opravdu malé ($0,350 \pm 0,035$ mg/kg půdy), což mohlo být způsobeno odběrem půdy z nižších vrstev. I přesto, že kávovalá sedlina obsahuje až 1,5 g fosforu v 1 kilogramu, neměl její přísávek do kávovalé sedliny významný vliv

na koncentraci fosforu a byl zaznamenán pouze mírný nárůst (obrázek 29). Nízký obsah fosforu se projevil na vzhledu vyrostlých salátů, jejichž listy po vyklíčení získávaly narůžovělý nádech.

Tyto růstové projevy nebyly patrné na půdních vzorcích obohacených 0,5 hm. % NPK, saláty měly v tomto případě jasně zelenou barvu. V případě 0,1 hm. % přidavku NPK k růžovění listů došlo, ovšem ne v takové míře jako u vzorků s kávovou sedlinou. Tyto vzorky se oproti půdním vzorkům s přidavkem kávové sedliny projevovaly také rychlejším růstem, což mohlo být způsobeno jak vyšší koncentrací fosforu, tak draslíku.

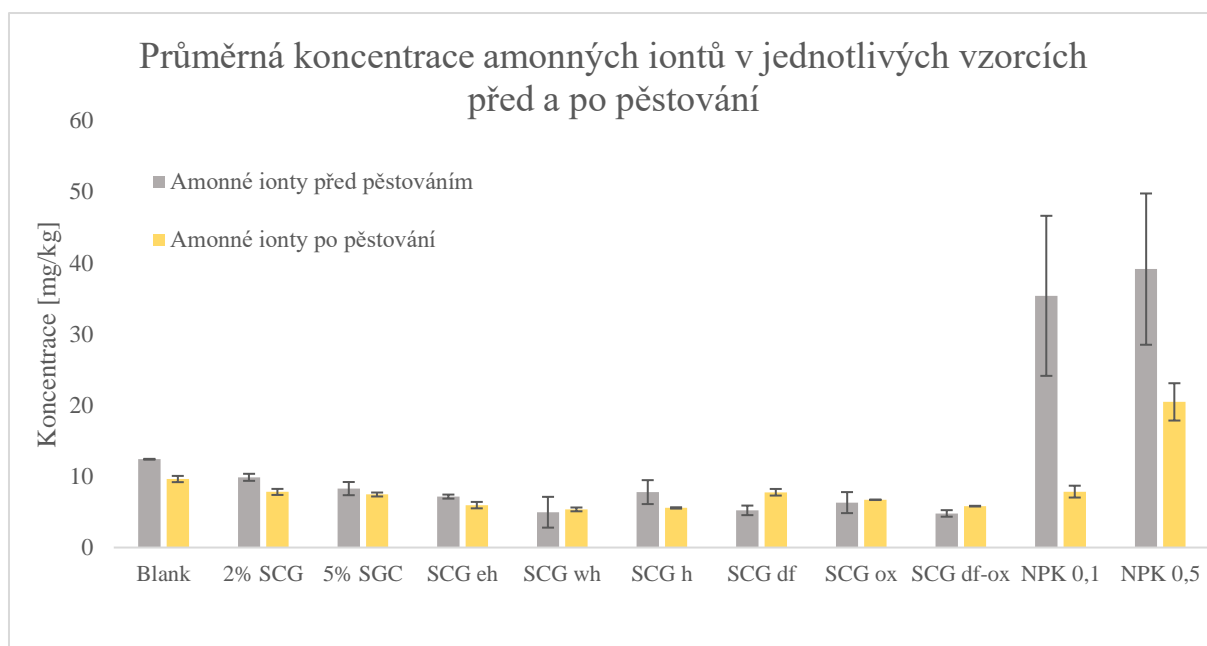


Obrázek 29: Porovnání průměrné koncentrace fosforu před a po pěstování.

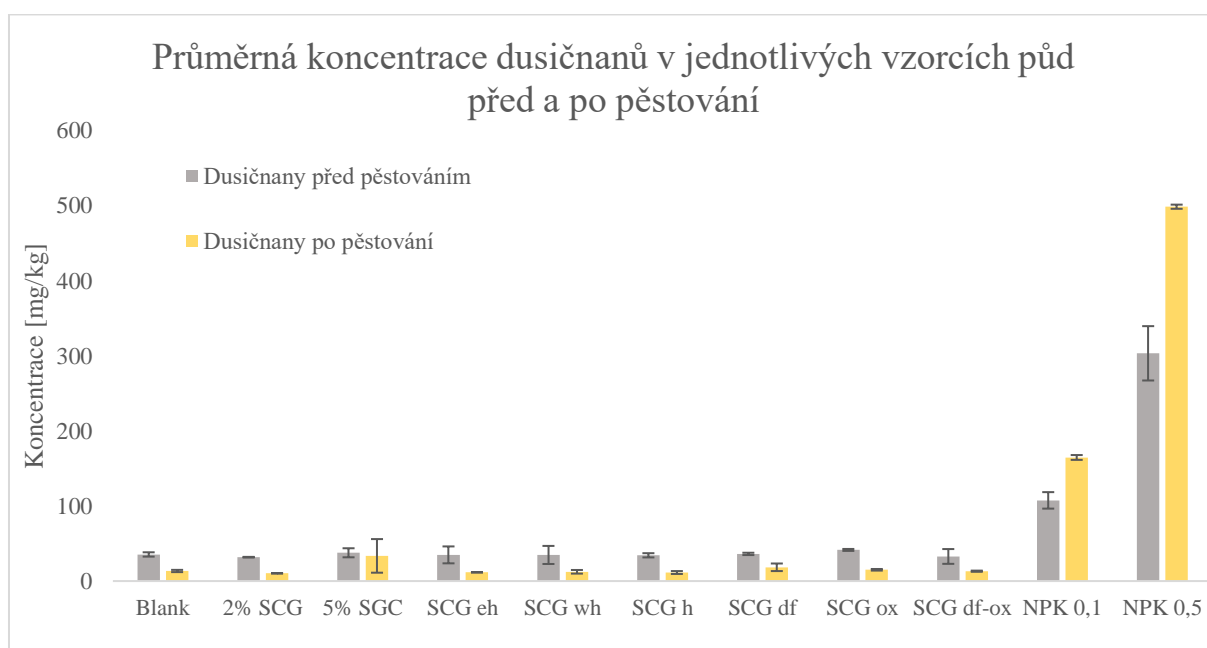
4.3.5 Amonné ionty a dusičnany

Amonné ionty, dusičnany a dusitany se souhrnně označují jako minerální dusík. Minerální dusík vzniká mineralizací organického materiálu, na kterou má vliv například teplota, pH, provzdušnění nebo vlhkost půdy. Množství organického materiálu závisí na typu půdy. Poměr mezi amonnými a dusičnanovými ionty v půdě závisí na obsahu půdních mikroorganismů [71].

Největší obsah minerálního dusíku ve formě dusičnanů a amonných iontů měly dle předpokládání vzorky půd s přidavkem komerčního hnojiva NPK. Neobohacená půda byla na dusík poměrně chudá, a přidavky kávové sedliny neměly na jeho obsah příliš velký vliv, v případě amoniakálních iontů došlo spíše k poklesu jejich koncentrace. V průběhu pěstování došlo ještě k dalšímu snížení množství minerálního dusíku (amonných iontů a dusičnanů) v půdě (obrázek 30, obrázek 31). Pouze u vzorků s obsahem odtučněné kávové sedliny a po oxidaci anorganickým oxidačním činidlem došlo během pěstování rostlin k mírnému nárůstu obsahu amonných iontů.



Obrázek 30: Porovnání průměrné koncentrace amonných iontů před a po pěstování.



Obrázek 31: Porovnání průměrné koncentrace dusičnanů před a po pěstování.

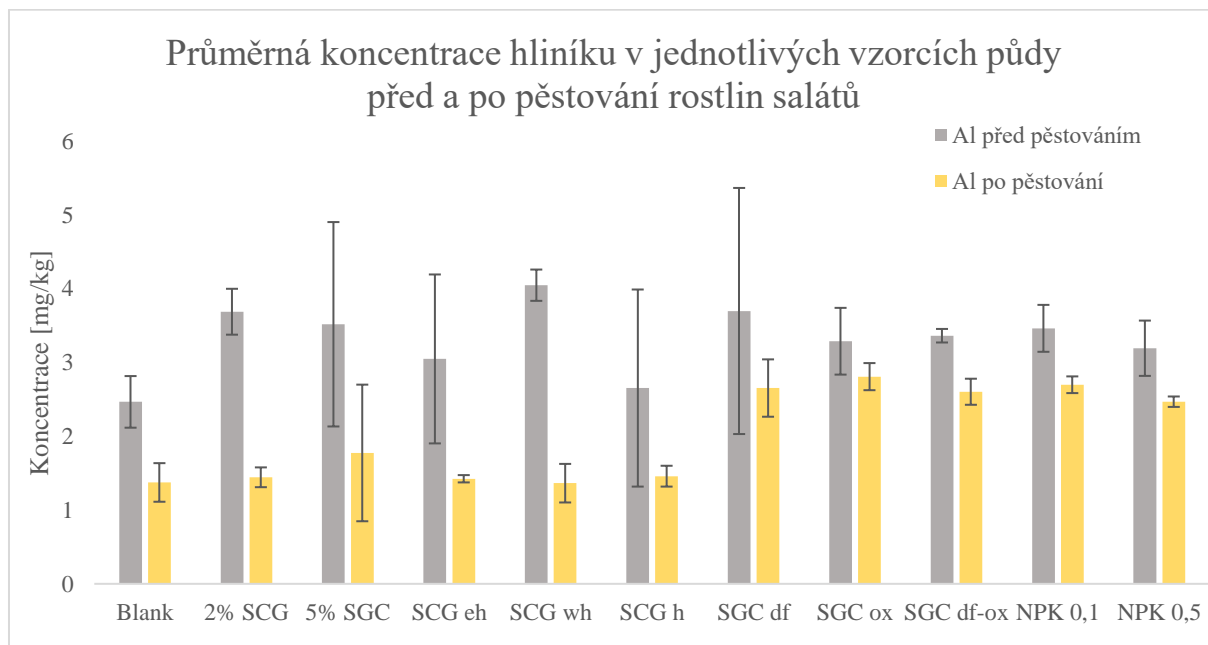
4.3.6 Hliník

Množství hliníku v půdě závisí na jejím pH. V kyslejších půdách se hliník stává více rozpustným a jeho koncentrace v půdním roztoku se zvyšuje. Při vyšší koncentraci hliníku v půdě vede jeho toxicita k inhibici růstu kořenů rostlin, a tedy k omezení sorpce živin a snížení výtěžnosti. Proto je obsah hliníku v půdách, zvláště kyselých, sledován [74],[75].

Všechny vzorky půdy měly pH zásadité, maximálně mírně kyselé, nebyla zaznamenána žádná významná spojitost mezi koncentrací hliníku v půdě a kyselostí jednotlivých vzorků. Mezi obsahy hliníku v jednotlivých vzorcích půdy nebyl pozorován statisticky významný rozdíl ($Pr = 0,733$). Množství hliníku v kávové sedlině je dle Lachheb et al. [67] roven 0,279 mg/kg vysušené kávové sedliny. Před pěstováním bylo jeho zastoupení ve vzorcích půdy mezi 247

a 405 mg/kg. Je tedy patrné, že obohacením půdy ať už komerčním hnojivem, tak upravenou nebo neupravenou sedlinou, nedošlo k výraznému nárůstu obsahu hliníku.

Po 3 týdnech pěstování rostlin salátů došlo ve všech vzorcích půdy k poklesu koncentrace hliníku (obrázek 32), lze tedy předpokládat, že modelová půda neobsahuje minerály, které by působením vody používané při zalévání uvolňovaly pevně vázaný hliník. Ani kávovou sedlinu přidanou do půdy nelze považovat za zdroj hliníku, což je vzhledem k jeho možné toxicitě pozitivní.

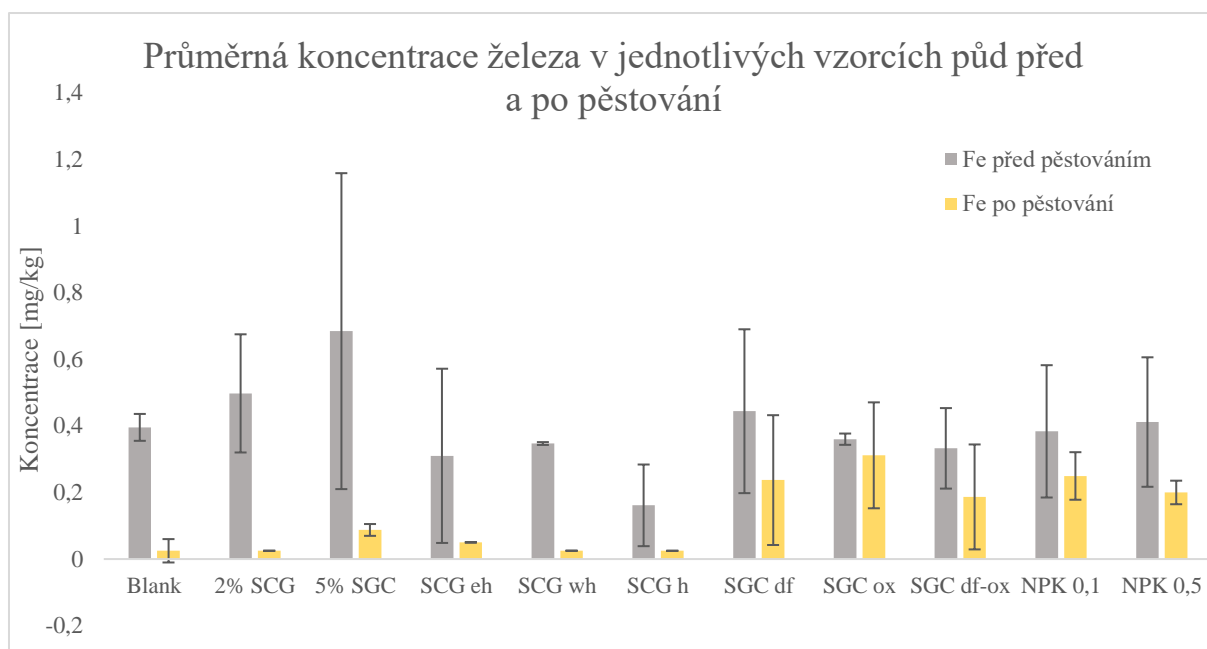


Obrázek 32: Porovnání koncentrací hliníku před a po pěstování.

4.3.7 Železo

Železo je v půdě nejčastěji součástí nerozpustných minerálů, které působením vzdušného kyslíku a železitých bakterií zvětrávají a oxidují. Voděrozpustné železo se v závislosti na pH půdy vyskytuje buď ve formě Fe^{3+} (pH < 3) nebo Fe^{2+} (neutrální a vyšší pH). Poměr mezi železitými a železnatými ionty závisí na redoxním potenciálu půdy, a tedy na jejím provzdušnění nebo zamokření [57].

Samotná kávová sedlina obsahuje přibližně 100 mg železa v 1 kg. Množství železa ve všech vzorcích půd bylo velmi nízké, což může později ovlivnit rychlost růstu rostlin. Při porovnání s neobohacenou půdou nebyl u vzorků půd s přidavkem kávové sedliny pozorován výrazný nárůst koncentrace železa (obrázek 33), rozdíly mezi půdními vzorky nejsou statisticky významné ($\text{Pr} = 0,584$). V průběhu pěstování rostlin salátů opět došlo ke snížení obsahu železa ve všech vzorcích půdy.



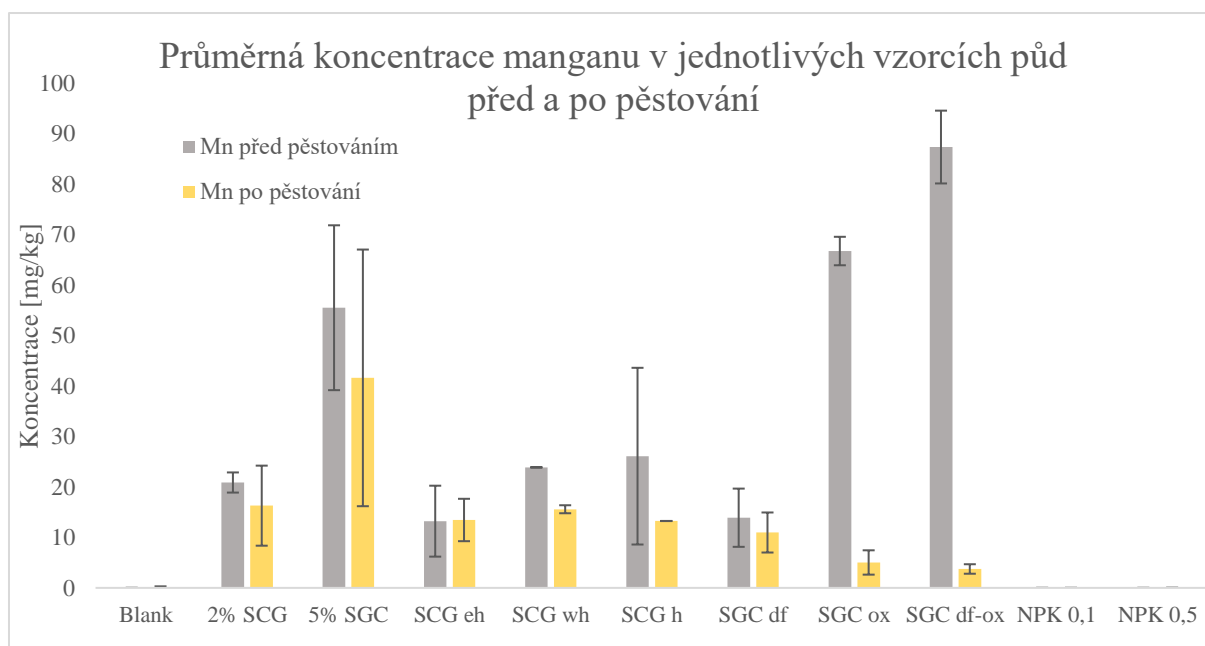
Obrázek 33: Porovnání koncentrace železa před a po pěstování.

Na zásaditých půdách s vysokým obsahem CaCO_3 se u rostlin může projevit chloróza, která je zapříčiněna nedostatkem přístupného železa, které se vlivem vysokého pH váže v nerozpustných sloučeninách. Chloróza může ovšem nastat i u kyselých půd s vysokou koncentrací mědi, niklu, kobaltu, zinku, manganu nebo chromu, které jsou antagonisty železa [57],[76].

4.3.8 Mangan

Mangan je v přírodě čtvrtým nejhojnějším prvkem na Zemi, tvoří asi 0,1 % zemské kůry. Je esenciálním prvkem s mnoha funkcemi, například tvoří kofaktor několika enzymových tříd. Ovšem kvůli rozšiřující se těžbě, výrobě, zemědělství a průmyslovým aktivitám dochází k hromadění manganu půdě a tím k její kontaminaci. Nejtoxičtější jsou pak rozpustné ionty, jelikož jsou dostupné pro rostlinné, a tedy i živočišné tkáně, kde může působit neurotoxicky [77],[78].

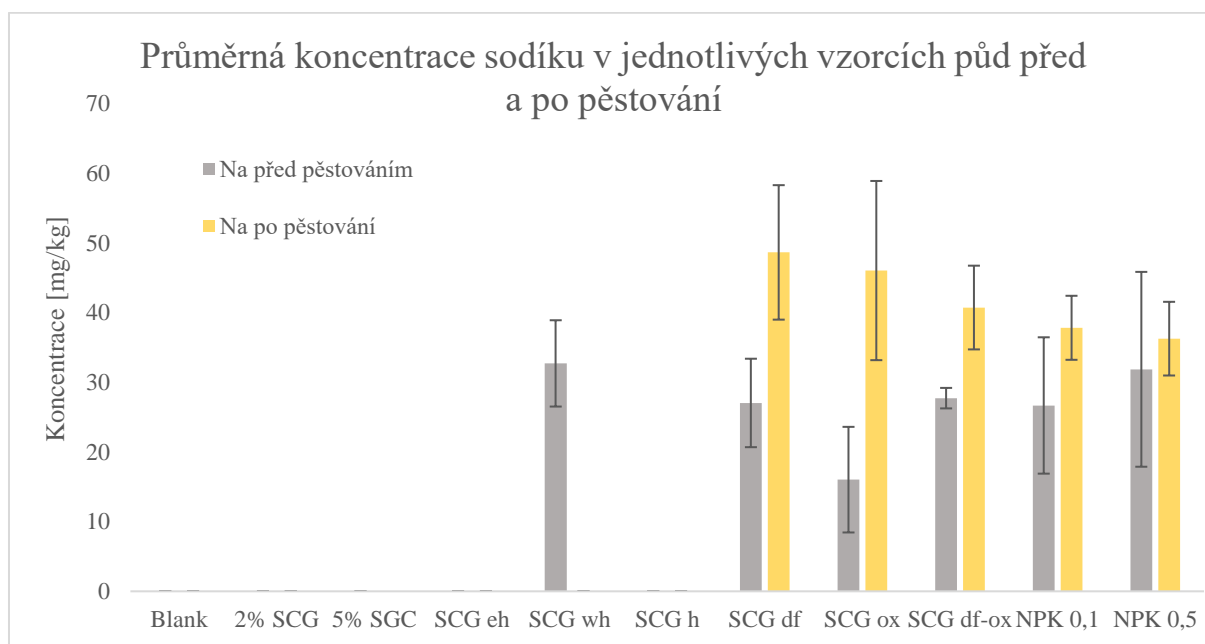
100 gramů kávové sedliny obsahuje až 4 mg manganu [66], jedná se tedy o jeho významný zdroj. To je patrné také na obsahu manganu stanoveném ve vzorcích půd obohacených kávovou sedlinou (obrázek 34). Oproti neobohacené půdě a půdám s přidavkem komerčního hnojiva NPK byla ve všech vzorcích obohacených kávovou sedlinou stanovena mnohem vyšší koncentrace manganu, konkrétně mezi 13 a 87 mg/kg půdy. V průběhu pěstování rostlin salátů (3 týdny) koncentrace manganu ve všech vzorcích půdy klesla.



Obrázek 34: Porovnání průměrných koncentrací manganu před a po pěstování.

4.3.9 Sodík

V neobohacené půdě nebylo stanoveno žádné množství sodíku, u půd obohacených kávovou sedlinou se jeho obsah lišil v závislosti na způsobu úpravy této sedliny (obrázek 35). Neupravená kávová sedlina nedodala půdě sodík žádný, naopak nejvíce ho bylo stanoveno ve vzorku směsi půdy a kávové sedliny, která byla upravena namáčením a následnou kyselou hydrolýzou (*SCG wh*). O něco menší množství sodíku bylo změřeno také u vzorků *SCG ox*, *SCG df* a *SCG df-ox*, u kterých ale v průběhu pěstování došlo k nárůstu jeho obsahu.



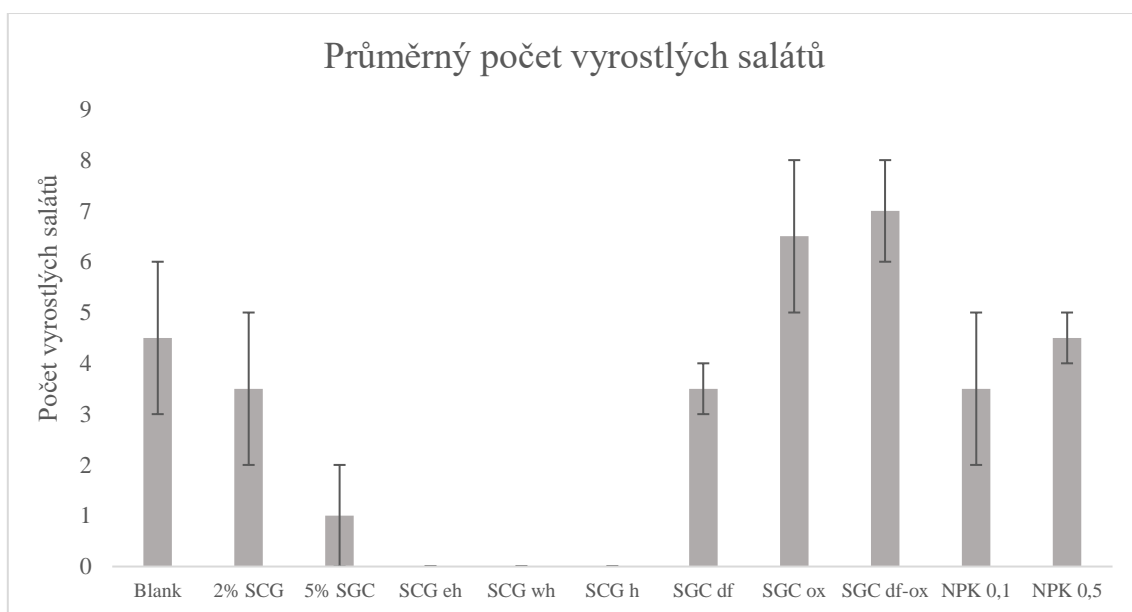
Obrázek 35: Porovnání průměrné koncentrace sodíku před a po pěstování.

Sodík je jedním z nejběžnějších prvků na Zemi, který se vyskytuje v půdě, vodě i ve vzduchu. V půdě je se vyskytuje jako Na^+ kationt, který je vázaný na půdní koloidy nebo je rozpuštěný v půdním roztoku. Sodík sice není pro rostliny nejvýznamnější živinou, ale jeho obsah v půdě je důležité sledovat. Zvyšující se množství sodíku v půdě vede k poškození

fyzikálních vlastností, což následně ovlivňuje růst kořenů. Tyto projevy nastanou při 0,5% obsahu sodných iontů v půdě [79]. Nic takového u půdních vzorků pozorováno nebylo a ani tomu koncentrace sodíku nenasvědčovala.

4.4 Růstové experimenty

Aby mohl být posouzen vliv přídatku kávové sedliny na růst plodin, byly na jednotlivých vzorcích půdy po dobu 3 týdnů pěstovány rostliny salátu *Lactuca sativa*. 200 g každé půdy bylo naváženo do květináčů, do které bylo zasazeno 10 semínek salátů. Pro každou půdu byly připraveny paralelní květináče. Pro porovnání růstu byly připraveny také květináče s neobohacenou půdou a s půdou s přídatkem 0,1 hm. % a 0,5 hm. % komerčního hnojiva NPK. Podrobné informace o těchto experimentech jsou uvedeny v kapitole 3.4.8. Průměrný počet vyrostlých salátů je uveden na obrázku 36.



Obrázek 36: Průměrný počet vyrostlých salátů v jednotlivých půdních vzorcích.

Při porovnání salátů vyrostlých na půdách obohacených kávovou sedlinou se saláty na půdě obohacené NPK byl znatelný rozdíl mezi velikostí a barvou. Na vzorcích 0,1 NPK a 0,5 NPK měly saláty čistě zelenou barvu a rostly rychleji než saláty na vzorcích s kávovou sedlinou. Saláty na půdách s obsahem kávové sedliny měly navíc nezdravý narůžovělý nádech, který byl způsoben nedostatkem přístupného fosforu v půdě (obrázek 37), což bylo evidentní také z výsledků chemických analýz. Rychlost růstu salátů ve všech vzorcích půd mohla být negativně ovlivněna nízkým obsahem draslíku. V testovaných půdách bylo také malé množství železa, což může na zásaditých půdách vést k propuknutí chlorózy, jejíž příčinou je také zpomalení růstu [76]. Aplikace žádného z použitých substrátů na bázi kávové sedliny nebyla schopna tyto půdní deficiencie v období 3 týdnů vyrovnat a vytvořit tak vhodnější podmínky pro pěstování rostlin.



Obrázek 37: Porovnání růstu a barvy salátů po 3 týdnech pěstování na půdě s přidavkem NPK (0,5 NPK) a s přidavkem zoxidované kávové sedliny (SCG ox).

Po 3 týdnech pěstování salátů na jednotlivých půdních vzorcích byly rostliny z půdy vytaženy. Kořeny salátů byly slabé a křehké, při vyšším počtu rostlin v jednom květináči docházelo v půdě k jejich zamotávání do sebe. Půda byla velmi tuhá a vlhká, a proto výsledná extrakce slabých kořenů z půdy neproběhla bez jejich poškození. Proto charakteristiky spojené s délkou kořenů nelze použít k dalšímu zhodnocení růstu.

Nejprve byl zhodnocen vliv aplikace nativní kávové sedliny do půdy na růst rostlin salátů. Při 2 hm. % nebyly pozorovány její výrazné negativní ani pozitivní vlivy na krátkodobý růst rostlin. Tyto vzorky 2% SCG byly po růstové stránce téměř srovnatelné s neobohacenou půdou. U půdních vzorků 5% SCG byla evidentní snižená klíčivost semínek salátu. Hardgrove et al. [22] uvádí, že přímý přírůstek kávové sedliny do půdy výrazně zpomaluje růst plodin a s její zvyšující se koncentrací je růst pomalejší. V případě aplikace 2 hm. % do málo výživné jílovité půdy nelze s tímto tvrzením souhlasit, avšak při vyšší koncentraci kávové sedliny byly pozorovány stejné jevy.

U vzorků půd s obsahem kyselě hydrolyzované kávové sedliny (SCG h, SCG wh, SCG eh) nedošlo ani po 3 týdnech k vyklíčení semínek salátů. Hodnota pH těchto půdních vzorků ani po kyselé hydrolýze nebyla mimo optimální rozsah pro pěstování salátů, ovšem touto úpravou došlo k velkému nárůstu vodivosti půdy, což mohlo mít na růst rostlin negativní vliv. Současně ve vzorcích půd vlivem použití kyseliny sírové k hydrolýze kávové sedliny došlo ke zvýšení koncentrace síranů, což může u některých půdních druhů být důvodem ke sníženému růstu [80]. Dalším významným a značně pravděpodobným důvodem inhibice růstu je vysoká vodivost půdního roztoku (u aplikace hydrolyzované sedliny až 1295 ± 6), což bylo prokázáno také u různých druhů trav [81].

Naopak při aplikaci odtučněné a oxidované kávové sedliny byl zaznamenán rychlý nástup klíčení semen a vysoký celkový počet vyrostlých salátů, na které měl ovšem negativní vliv nízký obsah přístupných živin (P, K, N). U této skupiny vzorků nedošlo ke výraznému zvýšení vodivosti, jako v případě kyselě hydrolyzovaných, ani nebyly vystaveny vysoké koncentraci síranů. Při oxidaci kávové sedliny dochází ke snížení nebo úplné eliminaci fenolických látek. Tato skutečnost se mohla projevit na zrychleném klíčení semínek salátů. Vysvětlovalo by to také malý počet vyklíčených semínek v případě půdního vzorku 5% SCG, do kterého byla kávová sedlina přidávána ve vyšší koncentraci a tedy i s vyšší koncentrací fenolických látek.

5 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo posouzení potenciálu pro využití kávové sedliny a produktů její rafinace jako materiálu pro zlepšení vlastností půd. Celkem bylo připraveno 8 směsí těžké jílovité půdy chudé na minerální látky a různě upravené kávové sedliny. Dva půdní vzorky obsahovaly neupravenou kávovou sedlinu v přídávku 2 hm. % a 5 hm. %. Další půdní vzorky byly obohacovány kávovou sedlinou po biorafinaci, během které byla upravena pomocí kyselé hydrolýzy, enzymatické hydrolýzy, máčením ve vodě, odtučňováním nebo oxidací.

V rámci experimentů byl studován vliv výše uvedených substrátů na fyzikální vlastnosti a obsah přístupných minerálních látek v půdě, a to před i po pěstování rostlin *Lactuca sativa* a vliv na jejich růstové charakteristiky. Každá analýza byla provedena ve dvou opakováních. Jako reference k naměřeným hodnotám byly použity vzorky neobohacené půdy a půdy s přídávkem 0,1 a 0,5 hm.% komerčního hnojiva v NPK.

Neobohacená půdy byla dle hodnoty pH, která se rovnala $8,65 \pm 0,06$, zařazena mezi silně zásadité půdy. Její vodivost, která vypovídá o zasolenosti půdy, měla hodnotu $113 \pm 4 \mu\text{S}/\text{cm}$, čímž se tato půda řadí mezi nezasolené. Vysoký obsah vápníku napovídal, že se zřejmě nacházela na vápencovém podloží. Jelikož byl její odběr proveden z nižších půdních vrstev, nebyla tato půda příliš bohatá na minerální látky, zejména na draslík a fosfor.

Jelikož je kávová sedlina kyselé, její přídatek k silně zásadité půdě způsobil pokles půdního pH. Míra tohoto poklesu dále korespondovala se způsobem úpravy kávové sedliny. Největší pokles půdního pH byl dle očekávání zaznamenán u substrátů hydrolyzovaných pomocí H_2SO_4 , jejichž pH kleslo oproti neobohacené půdě až o 1 stupeň (konkrétně $\text{pH}(\text{SCG } h) = 6,57 \pm 0,01$; $\text{pH}(\text{SCG } eh) = 6,83 \pm 0,01$; $\text{pH}(\text{SCG } wh) = 6,95 \pm 0,01$). V průběhu 3 týdnů pěstování salátů se pH všech půdních vzorků s přídávkem kávové sedliny opět změnilo, což mohlo být způsobeno jak pufrací kapacitou půdy, tak organickými kyselinami, které jsou produkovány kořenovým systémem rostlin. Se změnou pH se také změnila vodivost půdního roztoku jednotlivých vzorků. U půdních vzorků s obsahem kysele hydrolyzované kávové sedliny došlo k výraznému nárůstu vodivosti. To bylo způsobeno protonací hydroxylových skupin minerálních jílu, jejíž důsledkem bylo uvolnění kationtů do půdního roztoku. Mezi pH a vodivostí byl pozorován významný záporný korelační koeficient ($-0,717$ před pěstováním; $-0,694$ po pěstování).

Oproti neobohacené půdě vzrostly ve všech půdách obohacených kávovou sedlinou obsahy přístupného vápníku, hořčíku, manganu, mírně poté také hliníku, železa a draslíku a v některých případech také sodíku. Po pěstování docházelo u většiny minerálních látek k poklesu jejich množství, pouze v případě přístupného draslíku jeho množství ve všech vzorcích půdy obohacených kávovou sedlinou po 3 týdnech mírně vzrostlo. U vzorků půd bez kávové sedliny, konkrétně s přídávkem NPK, došlo během pěstování k výraznému poklesu obsahu draslíku. Lze tedy říct, že kávová sedlina postupným rozkladem v půdě uvolňuje přístupný draslík. U všech vzorků, jak s kávovou sedlinou, tak bez, došlo také k mírnému nárůstu obsahu chromu. Během pěstování došlo u půdních vzorků s odtučněnou kávovou sedlinou a sedlinou upravovanou oxidací anorganickým oxidačním činidlem ke zvýšení množství také fosforu, vápníku, sodíku a amonných iontů.

Růstové charakteristiky byly porovnávány s půdními vzorky neobohacené půdy a půdami s přídávky komerčního hnojiva NPK. Při 2 hm. % přídávku nativní kávové sedliny do jílovité půdy, která byla chudá na minerální látky, nebyly pozorovány negativní ani pozitivní účinky její aplikace na růst rostlin salátů. Počet i vzhled salátů na těchto vzorcích půd byl srovnatelný s těmi na neobohacené půdě. Aplikace 5 hm. % kávové sedliny se negativně projevila na počtu vyrostlých salátů. Následkem kyselé hydrolýzy kávové sedliny pomocí H_2SO_4 , která po její

aplikaci do půdy způsobila vysoký nárůst vodivosti a koncentrace síranů, nedošlo na vzorcích *SCG h*, *SCG eh* a *SCG wh* k vyklíčení žádných semínek salátů. Naopak u vzorků s odtučněnou a oxidovanou kávovou sedlinou byl pozorován rychlý nástup klíčení a vysoký počet vyrostlých salátů, což mohlo být důsledkem odstranění fenolických látek kávové sedliny v průběhu její oxidace. Velikost a vzhled salátů byl ovlivněn nízkým obsahem některých přístupných minerálních látek, a to zejména fosforu. Rostliny na všech půdních vzorcích měly oproti rostlinám na půdě obohacené komerčním hnojivem NPK růžovošedý nádech a jejich růst byl velmi pomalý. Na nízkou rychlost růstu mohl mít vliv také malý obsah draslíku, minerálního dusíku nebo železa.

Aplikace kávové sedliny nebo produktů její biorafinace do půdy za účelem jejího obohacování o minerální látky má značný potenciál, ovšem je nezbytné brát v úvahu její vlastnosti. Kvůli vysoké kyselosti tohoto materiálu je její případné použití vhodné spíše pro zásadité půdy. Je vhodným zdrojem vápníku, hořčíku nebo manganu, kterými je schopna půdu obohatit v relativně krátkém čase. Z krátkodobého hlediska ovšem není schopna půdu obohatit o draslík nebo fosfor a jeví se tedy jako nevhodná pro aplikaci do půd s jejich nedostatkem. Je také důležité vzít na vědomí riziko negativního vlivu fenolických látek na růst rostlin.

6 LITERATURA

- [1] Caffeine." *Britannica Academic*, Encyclopædia Britannica, 5 Aug. 2016. academic-eb-com.ezproxy.techlib.cz/levels/collegiate/article/caffeine/18535. Accessed 3 Apr. 2019.
- [2] KADLEC, Pavel, Karel MELZUCH a Michal VOLDŘICH. *Přehled tradičních potravinářských výrob: Technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2012. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-145-0.
- [3] PREEDY, Victor R. *Coffee in Health and Disease Prevention*. Elsevier Science & Technology, 2014. ISBN 9780124167162.
- [4] TOUFAROVÁ, Marie. *Analýza produkce, obchodu a možností uplatnění kávy v podmínkách ČR*. Brno, 2017. Diplomová práce. Mendelova univerzita. Vedoucí práce Jan Winkler.
- [5] DOS SANTOS SCHOLZ, Mária Brígida, Cíntia Sorane Good KITZBERGER, Natalia FERRAREZI PAGIATTO, Luis Felipe Protasio PEREIRA, Fabrice DAVRIEUX, David POT, Pierre CHARMETANT a Thierry LEROY. Chemical composition in wild ethiopian Arabica coffee accessions. *Euphytica*. 2016, **209**, 429-438. DOI: 10.1007/s10681-016-1653-y.
- [6] MOREIRA, Ana S., Fernando M. NUNES, M. Rosario DOMINGUES a Manuel A. COIMBRA. Coffee melanoidins: structures, mechanisms of formation and potential health impacts. *Food and Function*. 2012, **9**.
- [7] CHU, Yi-Fang. *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention*. United States: John Wiley, 2012.
- [8] MEENAKSHI, Arya a L. JAGAN MOHAN RAO. An Impression of Coffee Carbohydrates. *Food Science and Nutrition*. India, 2007, **47**(1), 51-67. ISSN 1040-8398.
- [9] ESQUIVEL, Patricia a Victor M. JIMÉNEZ. Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*. 2012, **46**, 488-495.
- [10] FERRUZZI, Mario G. The influence of beverage composition on delivery of phenolic compounds from coffee and tea. *Psychology and Behavior*. United States: Elsevier, 2010, **100**, 33-41.
- [11] MASSEY, John L. *Coffee: Production, Consumption and Health Benefits*. New York: Nova Science Publishers, 2016. ISBN 9781634847148.
- [12] FADAI, Nabil T., Colin P. PLEASE a Robert A VAN GORDER. Modelling structural deformations in a roasting coffee bean. *International Journal of Non-Linear Mechanics*. Australie: Elsevier, 2019, **110**, 123-130.
- [13] YANG, Ni, Chujiao LIU, Xingkun LIU, Tina KREUZFELDT DEGN, Morten MUNCHOW a Ian FISK. Determination of volatile marker compounds of common coffee roast defects. *Food Chemistry*. United Kingdom: Elsevier, 2016, **211**, 206-214.

- [14] FARAH, Adriana a Carmen Marino DONANGELO. Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology* [online]. Brazil, 2006, **18**(1), 23-36 [cit. 2019-03-31].
- [15] KOVALCIK, Adriana, Stanislav OBRUCA a Ivana MAROVA. Valorization of spent coffee grounds: A review. *Food and Bioproducts Processing*. Elsevier, 2018, **110**, 104-119.
- [16] MATA, Teresa M., Antonio A. MARTINS a Nídia S. CAETANO. Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization. *Bioresource Technology*. 2018, **247**, 1077-1084.
- [17] KOURMENTZA, C., Ch. N. ECONOMOU, P. TSAFRAKIDOU a M. KORNAROS. Spent coffee grounds make much more than waste: Exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream. *Journal of Cleaner Production*. 2018, **172**, 980-992.
- [18] KARMEE, Sanjib Kumar. A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites. *Waste Management*. 2018, **72**, 240-254.
- [19] OBRUCA, Stanislav, Pavla BENESOVA, Dan KUCERA, Sinisa PETRIK a Ivana MAROVA. Biotechnological conversion of spent coffee grounds into polyhydroxyalkanoates and carotenoids. *New Biotechnology*. 2015, **32**.
- [20] LI, Xiaofeifeng, Vladimir STREZOV a Tao KAN. Energy recovery potential analysis of spent coffee grounds pyrolysis products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2014, **110**, 79-87.
- [21] SANTOS, Cátia, Joao FONSECA, Alfredo AIRES, Joao COUNTINHO a Henrique TRINDADE. *Effect of different rates of spent coffee grounds (SCG) on composting process, gaseous emissions and quality of end-product*. *Waste Management*. 2017, **59**, 37-47.
- [22] HARDGROVE, Sarah J. a Stephen J. LIVESLEY. Applying spent coffee grounds directly to urban agriculture soils greatly reduces plant growth. *Urban Forestry and Urban Greening*. 2016, **18**, 1-8.
- [23] LHOTSKÝ, Jiří. *Kultivace a rekultivace půd*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 1994.
- [24] ŠIMEK, Miloslav. *Půda 1: neživé složky půdy*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2003.
- [25] PETRÁNEK, Jan a Jaroslav SYNEK. *Geologická encyklopedie online: Půda* [online]. Česká geologická služba, 2007 [cit. 2019-04-01].
- [26] ŠARAPATKA, Bořivoj. *Pedologie*. Olomouc: Univerzita Palackého, 1996. ISBN 80-7067-590-X.

- [27] VRBA, Vladimír, HULEŠ, Ludvík: Humus-půda-rostlina (1) Funkce humusu v ekosystému. *Biom.cz* [online]. 2006-09-04 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-1-funkce-humusu-v-ekosystemu>>. ISSN: 1801-2655.
- [28] VRBA, Vladimír, HULEŠ, Ludvík: Humus-půda-rostlina (2) Humus a půda. *Biom.cz* [online]. 2006-11-14 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>. ISSN: 1801-2655.
- [29] ZANELLA, Augusto, Jean-Francois PONGE, Stephanie TOPOLIANTZ, Nicolas BERNIER a Jérôme JUILLERET. Humusica 2, Article 15: Agro humus systems and forms. *Applied Soil Ecology*. Italy: Elsevier, 2018, **122**, 204-219.
- [30] NĚMEČEK, Jan, Jiří VOKOUN, Jiří SMEJKAL, Jaromír MACKŮ, Josef KOZÁK, Karel NĚMEČEK a Luboš BORŮVKA. *Elektronický taxonomický klasifikační systém půd ČR*. 2004. Dostupné také z: <https://klasifikace.pedologie.czu.cz/>
- [31] DUVIGNEAUD, Paul. *Ekologická syntéza*. Praha: Československá akademie věd, 1988.
- [32] KOLB, Eckart a Michael KOHLPAINTNER. *Tangel humus forms – genesis and co-evolution with vegetation*. Germany: Elsevier, 2018, **123**, 622-626.
- [33] POKORNÁ, Dana. *Pedologie* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~pokornd/HP/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/Pedologie.pdf>
- [34] Vyhláška č. 275/1998 Sb.: Vyhláška Ministerstva zemědělství o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků. In: *Sbírka zákonů*. 1998. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-275#f1901815>
- [35] ŠKARPA, Petr. *Laboratorní výuka z výživy rostlin* [online]. 2009 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/index.php?N=0&I=0&J=0&K=0
- [36] *Komplexní průzkum půd* [online]. 2017 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://kpp.vumop.cz/?core=account>
- [37] KRATINA, Josef. *Půdní reakce* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://pedologie.xf.cz/doc/tropy/pH/pH.pdf>
- [38] Vyhláška č. 153/2016 Sb.: Vyhláška o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. In: *Sbírka zákonů*. 2016. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-153#cast1>
- [39] VRBA, Vladimír, HULEŠ, Ludvík: Humus-půda-rostlina (14) Ekologické zásady praktické výživy rostlin. *Biom.cz* [online]. 2007-04-03 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z WWW:

<<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-14-ekologicke-zasady-prakticke-vyzivy-rostlin>>. ISSN: 1801-2655.

[40] KALINA, Miroslav. *Hnojení v zahradě*. 2. Grada, 2005.

[41] LONGACRE, Alan, R. I. PAPENDICK a J. F. PARR. Fertilizer. *AccessScience* [online]. 2017 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www-accessscience-com.ezproxy.techlib.cz/content/255000>.

[42] *Prohopo: Hospodářské potřeby* [online]. 2019 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: https://www.prohopo.cz/cs/p-1847-agro-npk-3kg-se-zeolitem-11-7-7/?gclid=EAIaIQobChMIsLfg3avP4QIVYbvtCh3GwwmmEAQYAIAABEgLSYvD_BwE

[43] RESENDIS-ANTONIO, Osbaldo, Jennifer L. REED, Sergio ENCARNACION a Julio COLLADO-VIDES. Metabolic Reconstruction and Modeling of Nitrogen Fixation in *Rhizobium etli*. *PLoS Comput Biol*. 2007, **3**(10).

[44] HEWITT, E. J. a Terence A. SMITH. *Plant mineral nutrition*. London: English Universities Press, 1975. ISBN 03-400-5086-1.

[45] VÁVRA, Václav. *Multimediální atlas hornin* [online]. 2013 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://atlas.horniny.sci.muni.cz/index.html>

[46] *Význam biogenních prvků v rostlině* [online]. Mendelova univerzita v Brně [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=71342

[47] CROUSE, David A. *North Carolina Extension Gardener Handbook: Soils and Plant Nutrients*. Raleigh: NC State Extension, 2018.

[48] ZÁRUBA, Kamil. *Analytická chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-951-8.

[49] HIRSCH, Odile a Cendrine DUBUISSON. *HORIBA Jobin Yvon S.A.S.* Brno, 2008.

[50] *Medical EXPO: Horiba Scientific* [online]. 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.medicalexpo.com/prod/horiba-scientific/product-104260-678166.html>

[51] *Research Gate: Schematic of ICP-MS major components* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-ICP-MS-major-components-sample-introduction-system-plasma-torch-and-mass_fig1_255785750

[52] *MS Spektrum* [online]. Warszawa, 2019 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://www.msspektrum.pl/index.php?menu_nr=2&page=agilent_przyrzady/uv/8454.inc

[53] ČERVENÁ, Lubomíra. *Analýza rozptylu: Metoda nepostradatelná v analýze dat již téměř 100 let* [online]. [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://kurzystatistiky.cz/analiza-rozptylu/>

- [54] DRÁPELA, Karel. *Analýza rozptylu (ANOVA)* [online]. Mendelova univerzita, 2013, s. 1-60 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/drapela/Statisticke_metody/Prezentace/zakladni/Anova.pdf
- [55] DUBJAKOVÁ, Eva. *Metody mnohonásobného porovnávání pro jednoduché třídění*. Brno, 2009. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Marie Budíková.
- [56] HERNÁNDEZ, R. P. B., Z. PÁSZTI, H. G. DE MELO a I. V. AOKI. Chemical characterization and anticorrosion properties of corrosion products formed on pure copper in synthetic rainwater of Rio de Janeiro and São Paulo. *Corrosion Science*. Brazílie, 2010, **52**, 826-837.
- [57] RICHTER, Rostislav. *Živinný režim půd*. Mendelova univerzita, 2004. Dostupné také z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/zivinny_rezim.htm
- [58] HLUŠEK, Jaroslav, Rostislav RICHTER a Pavel RYANT. *Výživa a hnojení zahradních plodin*. Praha: Zemědělec, 2002. ISBN 80-902-4135-2.
- [59] JULINOVÁ, Dorota. *Zhodnocení současného sortimentu velkohlávkových odrůd raného salátu*. Lednice, 2011. Bakalářská práce. Mendelova univerzita. Vedoucí práce Ivan Malý.
- [60] HAYNES, R. J., R. S. SWIFT. Effect of soil acidification and subsequent leaching on levels of extractable nutrients in a soil. *Plant and Soil*. 1986, **95**(1), 327-336.
- [61] WANG, X., C. TANG, S. MAHONY, J. A. BALDOCK a C. R. BUTTERLY. Factors affecting the measurement of soil pH buffer capacity: approaches to optimize the methods. *European Journal of Soil Science*. Austrálie, 2015, **66**, 53-64.
- [62] PHAUDUNCHEWIT, Yuwaree. *The role of pH and soil buffer capacity in heavy metal retention in clay soils*. Kanada: McGill University, 1990.
- [63] TANJI, Kenneth K. a Wesley W. WALLENDER. *Agricultural Salinity Assessment and Management*. 2. USA: American Society of Civil Engineers, 2011.
- [64] LIU, K. a G.W. PRICE. Evaluation of three composting systems for the management of spent coffee grounds. *Bioresource Technology*. Kanada, 2011, **102**, 7966-7974.
- [65] IVUSHKIN, Konstantin, Harm BARTHOLOMEUS, Arnold K. BREGT, et al. UAV based soil salinity assessment of cropland. *Geoderma*. 2019, **338**, 502-512.
- [66] WHITE, Philip J. a Martin R. BROADLEY. Calcium in Plants. *Annals of Botany*. UK, 2003, **92**, 287-511.
- [67] LACHHEB, A., A. ALLOUHI, M. EL MARHOUNE, R. SAADANI, T. KOUSKSOU, A. JAMIL, M. RAHMOUNE a O. OUSSOUADDI. Thermal insulation improvement in construction materials by adding spent coffee grounds: An experimental and simulation study. *Journal of Cleaner Production*. Maroko, 2019, **209**, 1411-1419.

- [68] WILCZEWSKI, Edward, Malgorzata SZCZEPANEK a Anna PIOTROWSKA-DŁUGOSZ. Content of Magnesium in Soil and Plants as Affected by Green Manure. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2016, **25**(2), 835-842.
- [69] ZHAO, Shicheng, Ping HE, Shaojun QUI. Long-term effects of potassium fertilization and straw return on soil potassium levels and crop yields in north-central China. *Field Crops Research*. 2014, **169**, 116-122.
- [70] KRUSE, Jens, Marion ABRAHAM, Wulf AMELUNG, et al. Innovative methods in soil phosphorus research: A review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2015, **178**(1), 43-88.
- [71] CAVALLI, D., P. MARINO GALLINA, D. SACCO a L. BECHINI. Soil mineral nitrogen dynamics following repeated application of dairy slurry. *European Journal of Soil Science*. 2016, **67**, 804-815.
- [72] SREENIVAS, Ch. a Ch. KONDA REEDY. Salinity–sodicity relationships of the Kalipatnam drainage pilot area, Godavari Western Delta, India. *Irrigation and Drainage*. John Wiley, 2008, **57**, 533-544.
- [73] HAN, Jiangpei, Yihua LUI, Liping YANG, Xingmei LIU, Laosheng WU a Jianming XU. Acidification and salinization of soils with different initial pH under greenhouse vegetable cultivation. *Journal of Soils and Sediments*. 2014, **14**(10), 1683-1692.
- [74] KOCHIAN, Leon V., Miguel A. PINEROS a Owen A. HOEKENGA. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil*. USA, 2005, **274**, 175-195.
- [75] YAMAMOTO, Yoko, Yukiko KOBAYASHI, Saddikuti RAMA DEVI, Sanae RIKIISHI a Hideaki MATSUMOTO. Oxidative stress triggered by aluminum in plant roots. *Plant and Soil*. Japonsko, 2003, **255**, 239-243.
- [76] REZAPOUR, Salar, H. AZHAH a H. R. MOMTAZ. Changes in forms and distribution pattern of soil iron oxides due to long-term cropping in the Northwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*. 2016, **67**(11).
- [77] BORDEAN, Maria-Despina, Ionut BENATEAN-DUNEA, Nica DRAGOS a Iosif GERGEN. Soil Manganese Enrichment from Industrial Inputs: A Gastropod Perspective. *PLOS one*. 2014, **9**(1).
- [78] MICHALKE, Bernhard a Katharina FERNSEBNER. New insights into manganese toxicity and speciation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2014, **28**(2), 106-116.
- [79] KARADAG, Sevinc, Emel EREN, Ebru CETINKAYA, Selin OZEN a Seda DEVECI. Optimization of sodium extraction from soil by using a central composite design (CCD) and

determination of soil sodium content by ion selective electrodes. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2016, **5**(2).

[80] KOWALSKA, Iwona. Effects of sulfate level in the nutrient solution on plant growth and sulphur content in tomato plants. *Folia Horticulturae*. 2005, **17**(1), 91-100.

[81] VICENTE, Mária José, Encarnacion CONESA, José ALVAREZ-ROGEL, Jose Antonio FRANCO a Juan Jose MARTINEZ-SANCHEZ. Effects of various salts on the germination of three perennial salt marsh species. *Aquatic Botany*. 2007, **87**(2), 167-170.

7 SEZNAM ZKRATEK

hm. %	hmotnostní procenta
Blank	neobohacená půda
2% SCG	půda s 2 hm. % přídavkem kávové sedliny
5% SCG	půda s 5 hm. % přídavkem kávové sedliny
SCG h	půda s přídavkem kyselého hydrolyzovaného kávového sedliny
SCG eh	půda s přídavkem kávové sedliny po enzymatické a kyselé hydrolýze
SCG wh	půda s přídavkem máčeného kávového sedliny po kyselé hydrolýze
SCG df	půda s přídavkem odtučněného kávového sedliny
SCG ox	půda s přídavkem oxidovaného kávového sedliny
SCG df-ox	půda s přídavkem odtučněného kávového sedliny po oxidaci
NPK 0,1	půda s přídavkem 0,1 hm. % NPK
NPK 0,5	půda s přídavkem 0,5 hm. % NPK
Θ	vodní kapacita půdy
m_{2h}	hmotnost mokré půdy po 2 hodinách na filtračním papíře
m_v	hmotnost nasáklé půdy
m_s	hmotnost suché půdy
$\mu S/cm$	mikrosiemens na centimetr

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Popis kávové třesně [4].....	8
Obrázek 2: Schéma technologického zpracování kávy [11].	11
Obrázek 3: Sušení kávových zrn při suché metodě.....	12
Obrázek 4: Schéma zpracování kávové sedliny [15],[16].....	14
Obrázek 5: Půdní horizonty [24].....	17
Obrázek 6: Trojúhelníkový diagram rozdělení půd dle procentuálního zastoupení částic [24].	19
Obrázek 7: Popis půdní struktury.....	20
Obrázek 8: Závislost procentuálního obsahu vlhkosti na půdním druhu [24].	21
Obrázek 9: Formy půdní vody [24].....	21
Obrázek 10: Sondovací tyč.....	22
Obrázek 11: Komerční hnojivo [42].	24
Obrázek 12: Projevy nedostatku fosforu u salátu [47].	26
Obrázek 13: Optický emisní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem [50].....	28
Obrázek 14: Schéma hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem [51]	28
Obrázek 15: UV-VIS spektrometr [52].....	29
Obrázek 16: Sušení půdy.....	32
Obrázek 17: Promíchávání směsi půdy s kávovou sedlinou na overhead třepače.	33
Obrázek 18: Stanovení vodní kapacity půdy.....	34
Obrázek 19: Příklad zbarvení roztoků na mikrotitrační destičce při stanovování dusičnanů. .	36
Obrázek 20: Příklad zbarvení roztoků na mikrotitrační destičce při stanovování amonných iontů.....	38
Obrázek 21: Box určený pro pěstování rostlin.	39
Obrázek 22: Graf zobrazující distribuci velikosti částic v neobohacené půdě.....	40
Obrázek 23: Rostliny salátů vypěstované na neobohacené půdě.	42
Obrázek 24: Porovnání pH vodných extraktů před a po pěstování.....	43
Obrázek 25: Porovnání vodivosti vodných extraktů půd před a po pěstování.....	44
Obrázek 26: Porovnání koncentrací vápníku před a po pěstování.	47
Obrázek 27: Porovnání průměrných koncentrací hořčíku před a po pěstování.	48
Obrázek 28: Porovnání průměrné koncentrace draslíku před a po pěstování.	49
Obrázek 29: Porovnání průměrné koncentrace fosforu před a po pěstování.	50
Obrázek 30: Porovnání průměrné koncentrace amonných iontů před a po pěstování.	51
Obrázek 31: Porovnání průměrné koncentrace dusičnanů před a po pěstování.....	51
Obrázek 32: Porovnání koncentrací hliníku před a po pěstování.....	52

Obrázek 33: Porovnání koncentrace železa před a po pěstování.	52
Obrázek 34: Porovnání průměrných koncentrací manganu před a po pěstování.	53
Obrázek 35: Porovnání průměrné koncentrace sodíku před a po pěstování.	54
Obrázek 36: Průměrný počet vyrostlých salátů v jednotlivých půdních vzorcích.	55
Obrázek 37: Porovnání růstu a barvy salátů po 3 týdnech pěstování na půdě s přidavkem NPK (0,5 NPK) a s přidavkem zoxidované kávové sedliny (SCG ox).	55

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Porovnání procentuálních obsahů složek zelené a pražené kávy [2].	9
Tabulka 2: Pórovitost u vybraných druhů půd	19
Tabulka 3: Rozdělení půd dle hodnot pH [26]	23
Tabulka 4: Charakteristika organických hnojiv [44].....	25
Tabulka 5: Seznam vzorků půd a jejich charakteristika.....	30
Tabulka 6: Parametry přípravy půdních vzorků.....	32
Tabulka 7: Koncentrace složek obsažených v syntetické dešťové vodě [54].	33
Tabulka 8: Parametry měření pro prvkovou analýzu.	35
Tabulka 9: Objem standardu a 2 M KCl pro přípravu kalibrační řady ke stanovení dusičnanů v půdních extraktech.	36
Tabulka 10: Objem standardu a 2M KCl pro přípravu kalibrační řady pro stanovení koncentrace amonných iontů v půdních extraktech.....	37
Tabulka 11: Charakteristika vody používané pro zalévání rostlin salátů.....	38
Tabulka 12: Hmotnost jednotlivých frakcí půdy rozdělených dle velikosti síta.....	40
Tabulka 13: Porovnání průměrných hodnot koncentrací přístupných makronutrientů v těžké trvale zatravněné půdě a v odebrané neobohacené půdě [57].	41
Tabulka 14: Nárůst nebo pokles sledovaných živin po pěstování rostlin v jednotlivých vzorcích půd.	45

10 PŘÍLOHY

Příloha 1: Průměrné hodnoty pH a vodivosti jednotlivých vzorků půd před a po pěstování

	Před pěstováním		Po pěstování	
	pH	Vodivost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH	Vodivost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
Blank	8,65a \pm 0,04	113 h \pm 4	7,88 ab \pm 0,02	194 c \pm 46
2% SCG	7,96 cd \pm 0,12	184 g \pm 7	7,76 bcd \pm 0,03	235 c \pm 10
5% SCG	7,51 e \pm 0,06	271 f \pm 16	7,73 bcd \pm 0,07	325 c \pm 57
SCG eh	6,83 f \pm 0,01	892 d \pm 6	7,62 cde \pm 0,02	742 ab \pm 77
SCG wh	6,95 f \pm 0,01	1170 c \pm 3	7,63 cde \pm 0,04	690 b \pm 59
SCG h	6,57 g \pm 0,01	1295 b \pm 6	7,52 e \pm 0,11	1082 a \pm 219
SCG df	8,12 c \pm 0,03	180 g \pm 8	7,71 bcde \pm 0,02	240 c \pm 29
SCG ox	8,34 b \pm 0,05	135 h \pm 9	8,07 a \pm 0,04	236 c \pm 46
SCG df-ox	8,33 b \pm 0,04	131 h \pm 2	7,79 bc \pm 0,04	202 c \pm 13
NPK 0,1	8,06 cd \pm 0,02	354 e \pm 15	8,05 a \pm 0,06	325 c \pm 138
NPK 0,5	7,87 d \pm 0,03	1615 a \pm 25	7,58 de \pm 0,05	683 b \pm 48

Příloha 2: Průměrné hodnoty makronutrientů v jednotlivých vzorcích půd před pěstováním

	Koncentrace makronutrientů před pěstováním [mg/kg]					
	Ca	Mg	K	P	NH ₄	NO ₃
Blank	2112 a ± 369	203 a ± 40	0,000 c ± 0,000	0,350 b ± 0,035	12,41 b ± 0,06	35,5 c ± 2,9
2% SCG	3569 a ± 259	383 a ± 32	2,825 c ± 0,247	0,000 b ± 0,000	9,87 b ± 0,50	31,8 c ± 0,5
5% SGC	2839 a ± 812	342 a ± 103	12,6 b ± 4,0	0,480 ab ± 0,064	8,285 b ± 0,93	37,7 c ± 6,0
SCG eh	3154 a ± 1143	307 a ± 114	3,88 c ± 0,25	0,710 ab ± 0,085	7,16 b ± 0,03	34,9 c ± 11,3
SCG wh	4430 a ± 68	426 a ± 5	3,09 c ± 0,28	0,638 ab ± 0,086	4,96 b ± 0,22	34,8 c ± 12,0
SCG h	3081 a ± 1754	287 a ± 151	7,94 bc ± 1,26	0,476 ab ± 0,136	7,790 b ± 0,17	34,3 c ± 2,8
SGC df	4205 a ± 22	392 a ± 57	1,86 c ± 1,03	0,278 b ± 0,033	5,23 b ± 0,07	36,2 c ± 1,6
SGC ox	3235 a ± 156	360 a ± 7	0,013 c ± 0,018	0,233 b ± 0,081	6,32 b ± 0,15	41,5 c ± 1,3
SGC df-ox	3548 a ± 73	400 a ± 23	1,67 c ± 0,42	0,225 b ± 0,036	4,80 b ± 0,46	32,8 c ± 9,9
NPK 0,1	3494 a ± 253	369 a ± 19	8,17 bc ± 0,54	0,427 ab ± 0,031	35,39 a ± 11,25	107 b ± 11
NPK 0,5	3416 a ± 277	439 a ± 52	90,5 a ± 2,7	2,16 a ± 1,37	39,14 a ± 10,63	303 a ± 36

Příloha 3: Průměrná koncentrace mikronutrientů v jednotlivých vzorcích půd před pěstováním

	Koncentrace mikronutrientů před pěstováním [mg/kg]					
	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Na
Blank	2,47 a ± 0,35	0,00 b ± 0,00	0,01 a ± 0,02	0,395 a ± 0,040	0,00 d ± 0,00	0,00 b ± 0,00
2% SCG	3,69 a ± 0,31	0,00 b ± 0,00	0,00 a ± 0,00	0,498 a ± 0,177	20,88 d ± 1,99	0,00 b ± 0,00
5% SGC	3,52 a ± 1,39	0,00 b ± 0,00	0,00 a ± 0,00	0,685 a ± 0,262	55,51 bc ± 16,33	0,00 b ± 0,00
SCG eh	3,05 a ± 1,15	0,00 b ± 0,00	0,04 a ± 0,05	0,031 a ± 0,262	13,22 d ± 7,03	0,000 b ± 0,000
SCG wh	4,05 a ± 0,21	0,00 b ± 0,00	0,05 a ± 0,03	0,347 a ± 0,004	23,87 d ± 0,08	32,7 a ± 6,2
SCG h	2,66 a ± 1,34	0,00 b ± 0,00	0,01 a ± 0,01	0,161 a ± 0,123	26,10 cd ± 17,51	0,00 b ± 0,00
SGC df	3,70 a ± 1,67	0,00 b ± 0,00	0,00 a ± 0,00	0,198 a ± 0,246	13,90 d ± 5,77	27,0 a ± 6,4
SGC ox	3,29 a ± 0,45	0,00 b ± 0,00	0,00 a ± 0,00	0,444 a ± 0,017	66,74 ab ± 2,82	16,0 ab ± 7,6
SGC df-ox	3,37 a ± 0,09	0,00 b ± 0,00	0,00 a ± 0,00	0,360 a ± 0,121	87,35 a ± 7,21	27,7 a ± 1,5
NPK 0,1	3,47 a ± 0,32	0,03 a ± 0,00	0,00 a ± 0,00	0,333 a ± 0,199	0,00 d ± 0,00	26,7 a ± 9,8
NPK 0,5	3,19 a ± 0,38	0,03 a ± 0,00	0,01 a ± 0,02	0,384 a ± 0,194	0,00 d ± 0,00	31,9 a ± 14,0

Příloha 4: Průměrná koncentrace makronutrientů v jednotlivých vzorcích půd po pěstování

	Koncentrace makronutrientů po pěstování [mg/kg]					
	Ca	Mg	K	P	NH ₄	NO ₃
Blank	2052 a ± 487	160 a ± 35	2,68 c ± 0,22	0,323 bc ± 0,068	9,63 b ± 0,44	13,4 c ± 1,5
2% SCG	2249 a ± 261	197 a ± 3	3,61 c ± 1,79	0,422 bc ± 0,315	7,82 bc ± 0,42	10,3 c ± 0,2
5% SGC	2644 a ± 1367	298 a ± 181	10,97 b ± 0,6	0,762 b ± 0,018	7,46 bc ± 0,28	33,5 c ± 22,4
SCG eh	2188 a ± 45	171 a ± 6	8,32 b ± 1,46	0,286 bc ± 0,019	5,96 c ± 0,45	11,6 c ± 0,2
SCG wh	2108 a ± 423	167 a ± 23	4,95 c ± 0,21	0,425 bc ± 0,036	5,36 c ± 0,27	12,3 c ± 2,4
SCG h	2279 a ± 231	194 a ± 0	8,43 b ± 0,02	0,437 bc ± 0,124	5,57 c ± 0,09	11,4 c ± 1,9
SGC df	3485 a ± 942	372 a ± 39	5,00 c ± 1,03	0,434 bc ± 0,052	7,77 bc ± 0,47	18,4 c ± 5,0
SGC ox	3977 a ± 49	355 a ± 9	3,80 c ± 0,23	0,249 bc ± 0,070	6,72 bc ± 0,04	15,0 c ± 1,1
SGC df ox	3970 a ± 41	339 a ± 4	3,79 c ± 0,27	0,263 bc ± 0,053	5,82 c ± 0,05	13,1 c ± 0,8
NPK 0,1	3960 a ± 92	337 a ± 11	4,61 c ± 0,53	0,200 c ± 0,001	7,86 bc ± 0,83	164 b ± 3
NPK 0,5	3530 a ± 214	362 a ± 9	23,5 a ± 0,5	1,46 a ± 0,23	20,5 a ± 2,6	498 a ± 3

Příloha 5: Průměrná koncentrace mikronutrientů v jednotlivých vzorcích půd po pěstování

	Koncentrace mikronutrientů po pěstování [mg/kg]					
	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Na
Blank	1,38 b ± 0,26	0,025 a ± 0,000	0,000 b ± 0,000	0,025 a ± 0,035	0,125 b ± 0,177	0,000 b ± 0,000
2% SCG	1,45 b ± 0,13	0,025 a ± 0,000	0,000 b ± 0,000	0,025 a ± 0,000	16,29 ab ± 7,93	0,000 b ± 0,000
5% SGC	1,78 ab ± 0,93	0,013 a ± 0,018	0,06 a ± 0,09	0,087 a ± 0,018	41,6 a ± 25,4	0,000 b ± 0,000
SCG eh	1,43 b ± 0,05	0,000 a ± 0,000	0,000 b ± 0,000	0,050 a ± 0,000	13,5 ab ± 4,2	0,000 b ± 0,000
SCG wh	1,37 b ± 0,26	0,013 a ± 0,018	0,000 b ± 0,000	0,025 a ± 0,000	15,6 ab ± 0,8	0,000 b ± 0,000
SCG h	1,46 b ± 0,14	0,000 a ± 0,000	0,000 b ± 0,000	0,025 a ± 0,000	13,3 ab ± 0,0	0,000 b ± 0,000
SGC df	2,66 ab ± 0,39	0,037 a ± 0,018	0,06 a ± 0,02	0,237 a ± 0,195	11,0 ab ± 4,0	48,7 a ± 9,7
SGC ox	2,81 a ± 0,18	0,025 a ± 0,000	0,03 a ± 0,00	0,312 a ± 0,159	5,04 b ± 2,41	46,0 a ± 12,9
SGC df-ox	2,61 ab ± 0,18	0,037 a ± 0,017	0,05 a ± 0,00	0,187 a ± 0,158	3,75 b ± 0,94	40,7 ab ± 6,0
NPK 0,1	2,70 ab ± 0,11	0,038 a ± 0,018	0,000 b ± 0,000	0,250 a ± 0,071	0,000 b ± 0,000	37,8 ab ± 4,6
NPK 0,5	2,47 ab ± 0,07	0,038 a ± 0,018	0,010 a ± 0,002	0,200 a ± 0,035	0,012 b ± 0,018	36,3 ab ± 5,3